

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS E INSTALAÇÕES ESCOLARES

Ângelo António Fernandes Passos

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Co-orientador: Engenheiro Fernando Ramos

27 de Julho de 2015

A Dissertação intitulada

“Eficiência Energética em Edifícios e Instalações Escolares”


foi aprovada em provas realizadas em 17-07-2015

o júri



Presidente **Professor Doutor Carlos Manuel de Araújo Sá**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Custódio João Pais Dias

Professor Coordenador do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto
Superior de Engenharia do Porto



Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



Autor - Ângelo António Fernandes Passos

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

A eficiência energética é um tema bastante atual, especialmente por questões ambientais e financeiras. Assim sendo a presente dissertação tem como objetivo verificar e se possível melhorar as condições de eficiência energética da iluminação e da climatização da escola Rodrigues de Freitas e do Conservatório da Música do Porto. Em caso de sucesso as faturas energéticas destas instalações diminuem e consegue-se ao mesmo tempo uma melhoria da eficiência energética.

A metodologia consiste em analisar as condições atuais de iluminação dos espaços, através do *software Dialux*, e verificar se existem melhorias a serem implementadas. Quanto à climatização verificam-se as condições atuais de operação dos equipamentos, percebendo-se se o seu funcionamento se encontra ajustado em consonância com a dinâmica das instalações. Para ambas as análises, caso existam melhorias sugere-se a implementação das mesmas procurando-se garantir sempre os níveis desejados e recomendados de iluminação e de climatização apropriada.

Conclui-se que existem algumas melhorias a serem implementadas ao nível da iluminação para as duas instalações analisadas. A implementação destas melhorias permite uma poupança anual assinalável no valor da fatura energética. Ao nível da climatização das instalações não se verificam melhorias assinaláveis, já que se encontram apropriadas para os parâmetros requeridos ao nível da eficiência energética atual.

Palavras-chave: Eficiência energética, iluminação, climatização, edifícios escolares.

Abstract

Energy efficiency is a very current topic, especially because of environmental and financial issues. This thesis aims to verify and if possible improve the energy efficiency of lighting conditions and climate at Rodrigues de Freitas School and at the Music Conservatory of Porto. If the objective is reached the energy bills of these facilities decrease and at the same time their energy efficiency improves.

The methodology is to examine the current conditions of illumination of spaces through Dialux software, and check if there are improvements to be implemented. As for the heating, ventilation and air conditioning (HVAC) it is performed a check up on the current conditions of the equipment's operation, perceiving up if its operation is adjusted in line with the dynamics of the facilities. In case of improving the initial conditions some solutions are suggested, always minding and ensuring the desired and recommended levels of lighting and proper HVAC.

It is concluded that there are some improvements to be implemented at the illumination level for both analyzed plants. The implementation of these improvements enables a remarkable annual savings on the energy bill. In terms of the facilities' HVAC there are no noticeable improvements, since they are suitable for the parameters required in terms of current energy efficiency.

Keywords: Energy efficiency, lighting, HVAC, school buildings.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à Deus, pela força, fé e coragem que Ele me dá todos os dias, para que eu possa lutar pelos meus objetivos e por me fazer sentir sempre um homem abençoado.

Aos meus pais, às minhas irmãs, aos meus irmãos e à minha família, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim nos bons e maus momentos e principalmente pela relação de amizade e carinho que manifestamos uns pelos outros.

Ao meu orientador, o professor Doutor António Machado e Moura pela confiança depositada em mim, pela sua disponibilidade na revisão deste documento e pela simpatia transmitida ao longo do meu percurso académico.

Ao meu coorientador, Engenheiro Fernando Ramos pelo seu apoio, disponibilidade e informações fornecidas durante a realização desta dissertação.

Ao Engenheiro Nuno Fernandes, pela sua disponibilidade e cooperação.

Ao técnico Carlos Ribeiro, pela disponibilidade e paciência demonstrado durante a visita à escola.

Aos meus amigos, porque simplesmente são os melhores.

Por fim queria manifestar o meu profundo agradecimento ao meu cunhado Paulino Moreira e à minha irmã Vitalina Fernandes, por terem investido na minha educação, pelos incentivos e pelos valores e princípios transmitidos ao longo da minha vida.

“O Senhor é o meu pastor, nada me faltará”

Salmos 23

Conteúdo

1	Introdução	3
1.1	Objetivos	3
1.2	Estrutura da Dissertação	4
2	Enquadramento	5
2.1	Energia Elétrica	5
2.2	Fontes de Energia	6
2.2.1	Petróleo	6
2.2.2	Carvão	7
2.2.3	Gás Natural	8
2.2.4	Urânio	9
2.2.5	Geotérmica	10
2.2.6	Biomassa	11
2.2.7	Solar	12
2.2.8	Eólica	13
2.2.9	Hídrica	14
2.3	Panorama energético a nível mundial	15
2.4	Panorama energético a nível nacional	18
2.5	Desenvolvimento Sustentável	20
3	Eficiência Energética	23
3.1	Gestão de Energia	24
3.1.1	Processo de Gestão de Energia	24
3.1.2	Auditorias Energéticas	26
3.1.3	Gestor de Energia	27
3.2	Métodos para a Otimização da Eficiência Energética	27
3.2.1	Iluminação	28
3.2.2	Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado	28
3.2.3	Envolvente do Edifício	29
3.2.4	Gestão Técnica Centralizada	30
4	Iluminação	31
4.1	Grandezas Luminotécnicas	31
4.1.1	Fluxo Luminoso	31
4.1.2	Intensidade Luminosa	32
4.1.3	Iluminância	32
4.1.4	Luminância	33
4.2	Luminárias	33

4.2.1	Tipos de Luminárias	33
4.3	Lâmpadas	36
4.3.1	Caraterísticas das Lâmpadas	36
4.3.2	Classificação das Lâmpadas	39
4.4	Gestão de Iluminação	51
4.4.1	Gestão Horária	51
4.4.2	Deteção de Presença e Movimento	52
4.4.3	Gestão em Função da Luz Natural	53
4.5	Balastros Eletrónicos	54
5	Caso de Estudo	57
5.1	Identificação e caraterização das áreas dos edifícios	57
5.1.1	Escola Rodrigues de Freitas	58
5.1.2	Conservatório da Música	62
5.2	Sistemas de Iluminação	62
5.2.1	Estudo do Nível Médio de Iluminação da ECR e Análise dos Resultados Obtidos	62
5.2.2	Estudo do Nível Médio de Iluminação do CM e Análise dos Resultados Obtidos	93
5.2.3	Considerações gerais sobre a Iluminação	95
5.3	Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado	97
5.3.1	Águas Quentes Sanitárias (AQS)	97
5.3.2	Climatização	97
6	Conclusões e Trabalho Futuro	99
6.1	Conclusão	99
6.2	Trabalho Futuro	100
	Referências	101
A		105
A.1	Níveis de Iluminação	105
A.2	106
A.3	107
A.4	Caraterísticas das lâmpadas	108
B		109
B.1	Iluminância média dos espaços analisados no piso 1 da ERF	109
B.2	Iluminância média dos espaços analisados no piso 2 da ERF	115
B.3	Iluminância média dos espaços analisados no CM	125
C		127
C.1	Planta do Piso 2	127
C.2	Planta do Piso 1	128
C.3	Planta do Piso -1	129

Lista de Figuras

2.1	Plataforma de exploração do petróleo	6
2.2	Vantagens e desvantagens do petróleo	6
2.3	Carvão	7
2.4	Vantagens e desvantagens do carvão	7
2.5	Gás Natural	8
2.6	Benefícios e inconvenientes do gás natural	8
2.7	Urânio	9
2.8	Benefícios e inconvenientes do urânio	9
2.9	Central Geotérmica	10
2.10	Benefícios e inconvenientes da energia geotérmica	10
2.11	Biomassa	11
2.12	Benefícios e inconvenientes da biomassa	11
2.13	Energia Solar	12
2.14	Vantagens e desvantagens de energia solar	13
2.15	Energia Eólica	13
2.16	Vantagens e desvantagens de energia eólica	14
2.17	Energia Hídrica	14
2.18	Vantagens e desvantagens de energia hídrica	15
2.19	Evolução do consumo mundial de energia[1]	16
2.20	Evolução do consumo mundial de energia por região 2013[1]	16
2.21	Membros do protocolo de Quioto em 2009[2]	17
2.22	Evolução da taxa de dependência energética, entre 2005 e 2012[3]	18
2.23	Consumo de energia primária em Portugal entre os anos 2000 e 2012[3]	19
2.24	Base para um desenvolvimento sustentável	21
3.1	Processo de Gestão de Energia	25
4.1	Fluxo Luminoso[4]	31
4.2	Intensidade Luminosa[5]	32
4.3	Iluminância[4]	32
4.4	Luminância[4]	33
4.5	Luminária de Luz Direta	34
4.6	Luminária de Luz Semidireta[6]	34
4.7	Luminária de Fluxo Luminoso Misto[6]	35
4.8	Luminária de Luz Semi-Indireta[6]	35
4.9	Luminária de Luz Indireta[6]	36
4.10	Etiqueta energética das lâmpadas[7]	38
4.11	Casquilho para lâmpadas incandescentes[8]	38

4.12	Casquilho para lâmpadas fluorescentes lineares[8]	39
4.13	Casquilho para lâmpadas fluorescentes compactas[8]	39
4.14	Tipos de lâmpadas [5]	40
4.15	Exemplo de lâmpada de filamento	41
4.16	Exemplo de lâmpada de halogéneo	41
4.17	Lâmpadas de Indução	42
4.18	Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	44
4.19	Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão	44
4.20	Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Iodetos	45
4.21	Lâmpada de Luz Mista	46
4.22	Lâmpada Fluorescente tubular	47
4.23	Classificação e diâmetro das lâmpadas fluorescentes[9]	47
4.24	Exemplos de lâmpadas fluorescentes compactas	48
4.25	Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão	49
4.26	Exemplo de lâmpadas LED	50
4.27	Interruptor horário analógico	52
4.28	Interruptor horário digital	52
4.29	Automático de escada	52
4.30	Exemplos de detetores de movimento	52
4.31	Faces do detetor infravermelhos passivos	53
4.32	Balastro eletrónico	55
5.1	Escola secundária Rodrigues de Freitas e Conservatório de Música do Porto	57
5.2	Lâmpadas instaladas no piso 2 da ERF	65
5.3	Distribuição da iluminação na biblioteca	65
5.4	Iluminância média da distribuição 2.2	66
5.5	Iluminância média do arquivo 2.3	67
5.6	Distribuição na iluminação no arquivo 2.4	68
5.7	Distribuição na iluminação no corredor gabinete 2.5	69
5.8	Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.A	69
5.9	Distribuição da iluminação nos gabinetes 2.6.B; 2.6.C; 2.6.D e 2.6.E	70
5.10	Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.F	70
5.11	Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.G	71
5.12	Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.H	71
5.13	Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.I	72
5.14	Distribuição da iluminação no espaço distribuição sanitários 2.7	72
5.15	Distribuição da iluminação no Sanitário masculino 2.8	73
5.16	Distribuição da iluminação no Sanitário feminino 2.9	73
5.17	Distribuição da iluminação nas Escadas 1 e 5	74
5.18	Distribuição da iluminação nas Escadas 6	75
5.19	Lâmpadas instaladas no piso 1 da ERF	75
5.20	Lâmpadas instaladas no piso -1 da ERF	82
5.21	Comparação entre os consumos	96
5.22	Comparação entre os custos	96
5.23	Termoacumulador	97
5.24	GTC da climatização da ERF e CM	98
A.1	Níveis de iluminação média	105
A.2	Níveis de iluminação média (continuação)	106

A.3	Caraterísticas das lâmpadas	108
A.4	Caraterísticas das lâmpadas	108
A.5	Caraterísticas das lâmpadas	108
B.1	Distribuição da iluminação	109
B.2	Distribuição da iluminação	109
B.3	Distribuição da iluminação	109
B.4	Distribuição da iluminação	110
B.5	Distribuição da iluminação	110
B.6	Distribuição da iluminação	110
B.7	Distribuição da iluminação	111
B.8	Distribuição da iluminação	111
B.9	Distribuição da iluminação	111
B.10	Distribuição da iluminação	112
B.11	Distribuição da iluminação	112
B.12	Distribuição da iluminação	112
B.13	Distribuição da iluminação	113
B.14	Distribuição da iluminação	113
B.15	Distribuição da iluminação	113
B.16	Distribuição da iluminação	114
B.17	Distribuição da iluminação	114
B.18	Distribuição da iluminação	114
B.19	Distribuição da iluminação	115
B.20	Distribuição da iluminação	115
B.21	Distribuição da iluminação	115
B.22	Distribuição da iluminação no corredor parte 1	116
B.23	Distribuição da iluminação no corredor parte 2	116
B.24	Distribuição da iluminação	116
B.25	Distribuição da iluminação	117
B.26	Distribuição da iluminação	117
B.27	Distribuição da iluminação	117
B.28	Distribuição da iluminação	118
B.29	Distribuição da iluminação	118
B.30	Distribuição da iluminação	118
B.31	Distribuição da iluminação	119
B.32	Distribuição da iluminação	119
B.33	Distribuição da iluminação	119
B.34	Distribuição da iluminação	120
B.35	Distribuição da iluminação	120
B.36	Distribuição da iluminação	120
B.37	Distribuição da iluminação	121
B.38	Distribuição da iluminação	121
B.39	Distribuição da iluminação	121
B.40	Distribuição da iluminação	122
B.41	Distribuição da iluminação	122
B.42	Distribuição da iluminação	122
B.43	Distribuição da iluminação	123
B.44	Distribuição da iluminação	123
B.45	Distribuição da iluminação	123

B.46 Distribuição da iluminação	124
B.47 Distribuição da iluminação	124
B.48 Distribuição da iluminação	124
B.49 Distribuição da iluminação	125
B.50 Distribuição da iluminação	125
B.51 Distribuição da iluminação	125
B.52 Distribuição da iluminação	126
B.53 Distribuição da iluminação	126
B.54 Distribuição da iluminação	126
C.1 Planta do piso 2 da Escola Rodrigues Freitas	127
C.2 Planta do piso 1 da Escola Rodrigues Freitas	128
C.3 Planta do piso -1 da Escola Rodrigues Freitas	129

Lista de Tabelas

4.1	Classificação de restituição de cores, em função do IRC	37
4.2	Classificação de Temperatura de Cor	37
4.3	Principais caraterísticas das lâmpadas de filamento	41
4.4	Principais caraterísticas das lâmpadas de halogéneo	42
4.5	Principais caraterísticas das lâmpadas de indução	43
4.6	Principais caraterísticas das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão	44
4.7	Caraterísticas das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão	45
4.8	Caraterísticas das lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos	46
4.9	Caraterísticas das lâmpadas de luz mista	46
4.10	Principais caraterísticas das lâmpadas fluorescentes lineares	48
4.11	Principais caraterísticas das lâmpadas fluorescentes compactas	49
4.12	Principais caraterísticas das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão	49
4.13	Principais caraterísticas da lâmpadas LED	50
5.1	Descrição do piso 2	58
5.2	Descrição do piso 1	59
5.3	Descrição do piso -1	61
5.4	Espaços do CM	62
5.5	Consumo anual por áreas	66
5.6	Análise da viabilidade económica da solução proposta	66
5.7	Consumo anual por áreas	68
5.8	Análise da viabilidade económica da solução proposta	68
5.9	Consumo anual por áreas	69
5.10	Análise da viabilidade económica da solução proposta	69
5.11	Consumo anual por áreas	73
5.12	Análise da viabilidade económica da solução proposta	73
5.13	Consumo anual por áreas	74
5.14	Análise da viabilidade económica da solução proposta	74
5.15	Consumo anual por áreas	76
5.16	Análise da viabilidade económica da solução proposta	76
5.17	Consumo anual por áreas	76
5.18	Análise da viabilidade económica da solução proposta	77
5.19	Consumo anual por áreas	78
5.20	Análise da viabilidade económica da solução proposta	78
5.21	Consumo anual por área	78
5.22	Análise da viabilidade económica da solução proposta	78
5.23	Consumo anual por área	79
5.24	Análise da viabilidade económica da solução proposta	79

5.25 Consumo anual por áreas	81
5.26 Análise da viabilidade económica da solução proposta	81
5.27 Consumo anual por áreas	81
5.28 Análise da viabilidade económica da solução proposta	81
5.29 Consumo anual por áreas	82
5.30 Análise da viabilidade económica da solução proposta	83
5.31 Consumo anual por áreas	83
5.32 Análise da viabilidade económica da solução proposta	83
5.33 Consumo anual por áreas	83
5.34 Análise da viabilidade económica da solução proposta	84
5.35 Consumo anual por áreas	84
5.36 Análise da viabilidade económica da solução proposta	84
5.37 Consumo anual por áreas	85
5.38 Análise da viabilidade económica da solução proposta	85
5.39 Consumo anual por áreas	85
5.40 Análise da viabilidade económica da solução proposta	85
5.41 Consumo anual por áreas	86
5.42 Análise da viabilidade económica da solução proposta	86
5.43 Consumo anual por áreas	87
5.44 Análise da viabilidade económica da solução proposta	87
5.45 Consumo anual por áreas	88
5.46 Análise da viabilidade económica da solução proposta	88
5.47 Consumo anual por áreas	88
5.48 Análise da viabilidade económica da solução proposta	88
5.49 Consumo anual por áreas	90
5.50 Análise da viabilidade económica da solução proposta	90
5.51 Consumo anual por áreas	91
5.52 Análise da viabilidade económica da solução proposta	91
5.53 Consumo anual por áreas	91
5.54 Análise da viabilidade económica da solução proposta	92
5.55 Consumo anual por áreas	92
5.56 Análise da viabilidade económica da solução proposta	93
5.57 Consumo anual por áreas	93
5.58 Análise da viabilidade económica da solução proposta	93
5.59 Consumo anual por áreas	94
5.60 Análise da viabilidade económica da solução proposta	94
5.61 Consumo anual por áreas	95
5.62 Análise da viabilidade económica da solução proposta	95
A.1 Caraterísticas das armaduras instaladas na ERF e CM	107
A.2 Número de horas de funcionamento das lâmpadas durante o dia	107

Abreviaturas e Símbolos

AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CM	Conservatório da Música
CO ₂	Dióxido de Carbono
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública
ERF	Escola Rodrigues de Freitas
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GTC	Gestão Técnica Centralizada
IRC	Índice de Restituição Cromática
K	Kelvin
KNX-EIB	<i>Konnex-European Installation Bus</i>
l	Lúmen
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
PE	Parque Escolar
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
T _c	Temperatura de Cor
UE	União Europeia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
W	Watt

.

Capítulo 1

Introdução

Ao longo dos últimos anos, o consumo da energia elétrica tem vindo a crescer a nível mundial, este consumo crescente reflete-se de uma forma negativa no meio ambiente, uma vez que as principais fontes utilizadas são os combustíveis fósseis, que são os maiores causadores de emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) para a atmosfera, gases esses que contribuem para o aquecimento global do planeta. Esse aumento da temperatura poderá trazer consequências gravíssimas para a vida no planeta terra.

Hoje em dia a energia elétrica é um elemento chave para o desenvolvimento social e crescimento económico de qualquer país. Sendo que os combustíveis fósseis (Carvão, petróleo e gás natural) para além de serem poluentes, são finitos. Uma das soluções para minimizar o impacto ambiental, preservar essas fontes e cumprir o protocolo de Quioto é recorrer-se às energias renováveis e à eficiência energética.

A eficiência energética, ou simplesmente utilização racional de energia tem como propósito a redução nos consumos de energia, de forma a reduzir os custos, mantendo o mesmo nível de conforto e bem estar. A eficiência energética assume-se como uma ferramenta chave a nível mundial para preservação do meio ambiente e redução dos consumos energéticos em vários setores, tais como os edifícios.

O setor dos edifícios é responsável por aproximadamente 40% do consumo da energia elétrica final na Europa e cerca de 30 % de Portugal. Porém, mais de 50% desse consumo pode ser reduzido recorrendo-se às medidas de eficiência energética, que podem representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de dióxido de carbono. [10]

1.1 Objetivos

A eficiência energética revela-se como um fator de extrema importância na preservação do meio ambiente através da poupança de recursos naturais energéticos não renováveis, redução das emissões de gases com efeitos de estufa e poluentes locais, proporcionando dessa forma o bem estar às gerações futuras.

A presente dissertação tem como caso de estudo verificar as condições de eficiência energética da escola secundária Rodrigues de Freitas e Conservatório de Música do Porto. Com objetivo de otimizar a eficiência das escolas e a utilização racional de energia, o trabalho realizado engloba os seguintes objetivos:

- Levantamento e caracterização dos sistemas de iluminação instalados na escola Rodrigues de Freitas (ERF) e Conservatório da Música (CM);
- Através do software *Dialux*, realizar o estudo dos níveis de iluminação com os sistemas instalados atualmente, para os vários espaços (salas de aulas, gabinetes, laboratórios, casas de banho, circulações, etc.), comparar os valores obtidos com os níveis recomendados para esses espaços;
- Verificar se os equipamentos utilizados são eficientes e se os seus períodos de funcionamento estão ajustados;
- Propor as medidas a serem tomadas, de forma a maximizar a eficiência energética e garantir o conforto e bem estar dos utilizadores.

1.2 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação é composta por 6 capítulos.

O primeiro capítulo apresenta os objetivos da dissertação e a estrutura do documento.

O segundo capítulo apresenta o enquadramento energético, a nível mundial e nacional. Aborda-se ainda o papel relevante do desenvolvimento sustentável.

O terceiro capítulo aborda a realidade da eficiência energética, assim como os métodos que permitem a otimização da mesma. São apresentadas os processos de gestão de energia, o papel do gestor de energia e os tipos de auditorias em grandes edifícios.

O quarto capítulo é dedicado exclusivamente aos sistemas de iluminação e aborda questões que permitem a otimização da eficiência energética no sistema luminotécnico.

O quinto capítulo é dedicado exclusivamente ao caso de estudo. Será realizado um estudo do sistema de iluminação das escolas, através do *software Dialux*. Também Será feita uma análise dos equipamentos que mais energia consomem nas escolas.

O sexto capítulo apresenta as conclusões sobre o trabalho realizado, assim como as perspetivas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Enquadramento

2.1 Energia Elétrica

O conceito de energia normalmente é definido como sendo a capacidade de sistemas e corpos para realizar um trabalho. A energia manifesta-se de várias formas (por exemplo: energia elétrica, química, térmica, nuclear, radiante). [11]

A energia pode ser classificada em duas categorias: energia potencial, que é a energia armazenada num corpo ou num sistema em consequência da sua posição, forma ou estado (como por exemplo: energia potencial gravítica, energia elétrica, energia nuclear e energia química) e energia cinética que é a energia do movimento, e é normalmente definida como trabalho que será realizado sobre um corpo que possui energia, quando ele é conduzido ao repouso.

A produção de eletricidade dá-se a partir de um processo de geração, através de fontes de energia primária, conhecida também por fonte de energia natural. Trata-se de uma fonte de energia que existe em forma natural na natureza, das quais destacam-se o petróleo, o carvão, a biomassa, o sol , o vento, o gásóleo, o gás natural,etc. A produção da energia elétrica dá-se através da conversão da energia mecânica em energia elétrica.

Hoje em dia as fontes de energia tem-se revelado cada vez mais importantes e imprescindíveis à nossa vida quotidiana e ao desenvolvimento económico. As tecnologias para a produção de eletricidade podem ser divididas em três tipos: energias renováveis, energias não renováveis e fontes de energia secundária. Energias renováveis são aqueles que provém de recursos naturais que não se esgotam, infinitos, possuem a capacidade de regenerar-se naturalmente, tais como a energia solar, eólica, hídrica e biomassa. Estima-se que cerca de 20% da eletricidade no mundo, é oriundo de recursos renováveis. No que diz respeito as fontes não renováveis, estas encontram-se em quantidades limitadas na natureza, são esgotáveis, alguns exemplos dessas matérias-primas são os combustíveis fósseis (Petróleo, carvão e gás natural), que formam-se no subsolo a partir de restos orgânicos de plantas e animais e o urânio que é utilizado na produção de energia nuclear. Devido ao elevado consumo por parte dos homens esses combustíveis encontram-se cada vez mais em quantidades reduzidas. Por fim temos as fontes de energia secundária, que são transformadas a partir das fontes de energia primária. São utilizadas para armazenar, mover e entregar a energia

de forma mais fácil. Como exemplo temos a eletricidade e o hidrogénio, combustíveis líquidos (como gasóleo e gasolina).[11] [12]

2.2 Fontes de Energia

2.2.1 Petróleo



Figura 2.1: Plataforma de exploração do petróleo

O petróleo, constituído maioritariamente por hidrocarbonetos, forma-se no subsolo através de restos orgânicos de plantas e animais, que demoram milhões de anos até transformarem-se em combustível, sofrendo várias modificações a que são expostas a temperaturas e pressões diferentes, consoante a profundidade que se encontram.

O petróleo começou a conquistar a importância que ele tem hoje em dia a meados do século XIX, a sua primeira aplicação foi no setor de iluminação. Atualmente o petróleo continua a ser o principal recurso de energia, com uma vasta gama de aplicações possíveis. Porém, a sua principal utilização vai mudar na direção do setor do transporte e petroquímico. A posição que o petróleo ocupa no topo da utilização das fontes de energia irá enfrentar um enorme desafio, face a outros combustíveis, como o gás natural. A Figura 2.2 apresenta algumas vantagens e desvantagens face a utilização do petróleo. [13] [14]

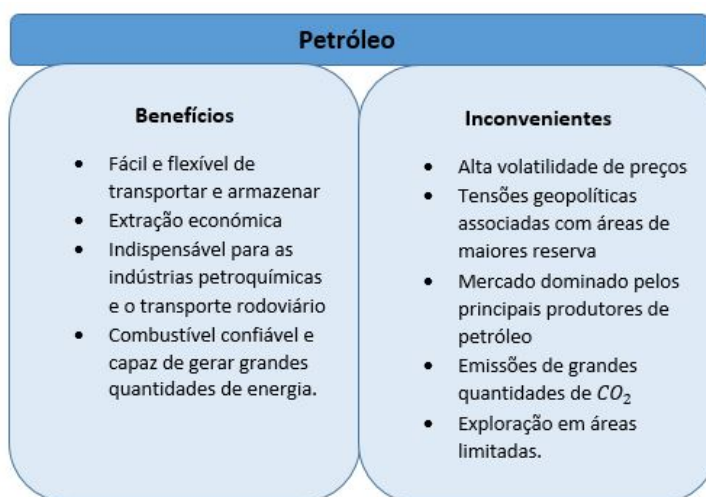


Figura 2.2: Vantagens e desvantagens do petróleo

2.2.2 Carvão



Figura 2.3: Carvão

O carvão é uma rocha sedimentar combustível de cor preta, constituído basicamente por carbono e hidrocarbonetos de moléculas que contêm carbono e hidrogénio. A exploração das suas minas é feita em mais de 50 países. Trata-se de um combustível de origem fóssil, e destaca-se como o mais barato entre os outros combustíveis utilizados na produção da energia elétrica fruto da sua abundância.

O carvão foi primeiro combustível fóssil a ser utilizado para a produção de energia elétrica nas centrais térmicas. Em 1950, 60% das necessidades energéticas a nível mundial, foram satisfeitas pelo carvão. Apesar da enorme quantidade de dióxido de enxofre, dióxido de carbono e óxidos de azoto libertado durante a sua combustão, a sua utilização na produção de energia a nível mundial é superior a 40%. A Figura 2.4 ilustra as vantagens e desvantagens do carvão.[13] [14]

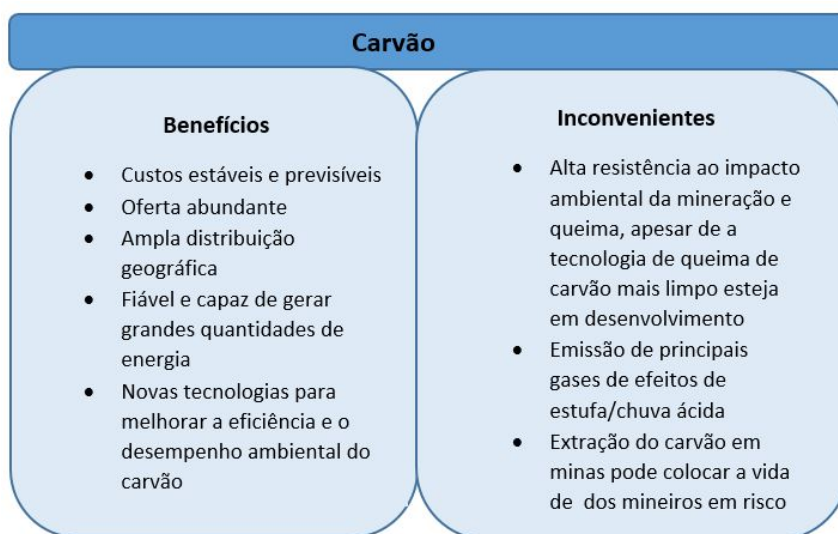


Figura 2.4: Vantagens e desvantagens do carvão

2.2.3 Gás Natural



Figura 2.5: Gás Natural

Assim como o petróleo, o gás natural é um combustível de origem fóssil, que formou-se durante milhões de anos a partir de resíduos orgânicos de plantas animais. Trata-se de um combustível muito flexível e abundante, destaca-se como o mais limpo de todos os combustíveis fósseis, uma das razões pela qual a sua utilização nos diversos setores económicos tem vindo a crescer.

A sua distribuição é feita a partir de gasodutos. Atualmente o gás natural é usado no comércio, veículos, indústrias e domicílios. É bastante utilizado nas tecnologias mais eficientes de produção de energia, tais como em turbinas de ciclo combinado, cuja a sua eficiência de conversão é cerca de 60%. Em geral a sua exploração, desenvolvimento e transporte, exige um investimento inicial bastante significativo, pelo que terá que haver uma estreita coordenação entre a infraestrutura de gás e energia. A Figura 2.6 representa os benefícios e os inconvenientes deste combustível.[13] [14]

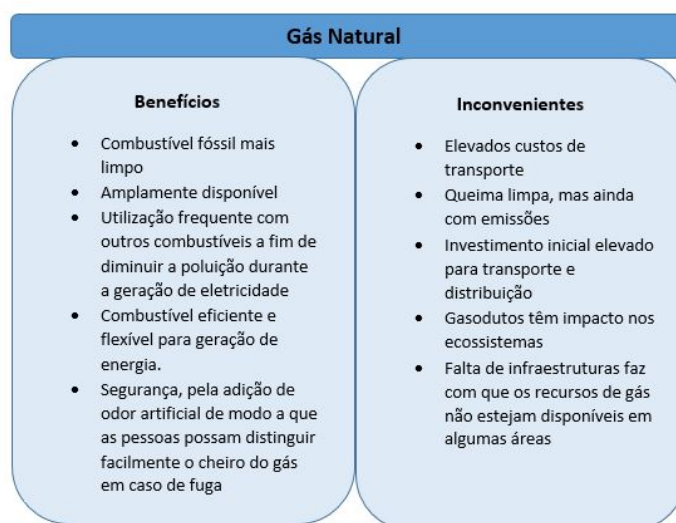


Figura 2.6: Benefícios e inconvenientes do gás natural

2.2.4 Urânio



Figura 2.7: Urânio

Depois de um longo período de declínio, causado pela oferta , após o desarmamento nuclear, atualmente a produção do urânio tem estado em ascensão à nível mundial. o urânio é um mineral, que é utilizado como principal fonte de combustível para reatores nucleares.

A produção da energia nuclear dá-se através das reações de fissão ou fusão dos átomos, durante as quais são libertadas grandes quantidades de energia, que podem ser utilizadas para a produção de energia elétrica. A fissão nuclear consiste na divisão de um núcleo pesado em dois núcleos de massa aproximadamente iguais, para geração de energia. Durante o processo de fissão liberta-se energia térmica, que é utilizada para ferver água no núcleo do reator. O vapor gerado é utilizado para rodar a turbina, gerando dessa forma a energia elétrica. Enquanto que a fusão nuclear consiste na união de dois núcleos leves com o intuito de formar outro mais pesado, com menor conteúdo energético, a partir da qual se libertam grandes quantidades de energia. Apesar de o processo de fusão gerar um material menos radioativo, o controlo da sua reação é mais difícil. A Figura 2.8 ilustra os benefícios e os inconvenientes deste combustível. [13] [14]

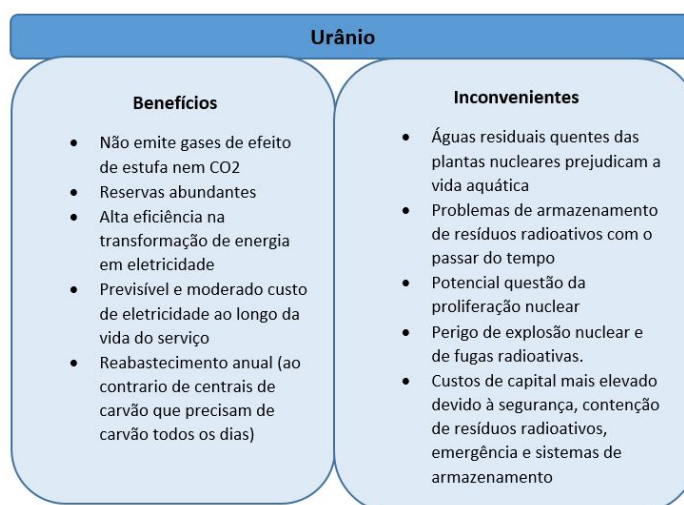


Figura 2.8: Benefícios e inconvenientes do urânio

2.2.5 Geotérmica



Figura 2.9: Central Geotérmica

A energia geotérmica é caracterizada como sendo, a energia que provém do interior da terra. As fumarolas, os vulcões e as fontes termais são as populares manifestações desta fonte de energia. A central geotérmica, aproveita a grande quantidade de energia existente, no interior do planeta terra para gerar eletricidade. A energia produzida a altas temperaturas é convertida em vapor, que por sua vez irá acionar a turbina localizada na superfície, que gera eletricidade. Criam-se canais, usando canos e tubos apropriados, e injeta-se-lhes água. Esta por sua vez transforma-se em vapor, o vapor é conduzido até a central geotérmica por meio desse canal. Atualmente estão sendo pesquisadas novas tecnologias de perfuração para captar o calor em zonas mais profundas.[13] [15] [16]

A Figura 2.10 ilustra os benefícios e os inconvenientes desta fonte de energia.

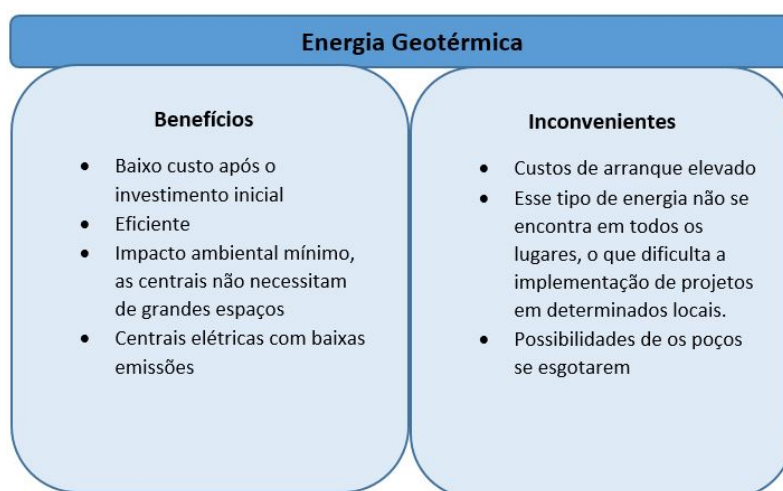


Figura 2.10: Benefícios e inconvenientes da energia geotérmica

2.2.6 Biomassa



Figura 2.11: Biomassa

A Biomassa é uma matéria, de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada como fonte primária de energia. A energia pode ser obtida a partir da combustão direta dos materiais, ou de uma transformação biológica ou química, aumentando dessa forma o poder energético do biocombustível. Como exemplos de algumas matérias-primas utilizadas nesta tecnologia para a produção de eletricidade, de calor e de combustíveis para os transportes, temos os subprodutos da agricultura, pecuária e da floresta, assim como a parte biodegradável dos resíduos sólidos urbanos. Os biocombustíveis são produzidos através de plantas que absorvem CO₂, permitindo dessa forma a produção de combustíveis que não emitem GEE, que são os principais responsáveis pelo aquecimento global. Para além da sua utilização como combustíveis para transportes, o biocombustível pode ser transformado noutras formas de energias úteis tais como o calor e o gás metano. A utilização da biomassa residual florestal, na produção da energia elétrica desempenha um papel importante reduzindo os riscos de incêndios florestais conjugando a limpeza das florestas com o ordenamento de território.[13] [15] [16] Os benefícios e os inconvenientes desta fonte de energia encontram-se representados na Figura 2.12.

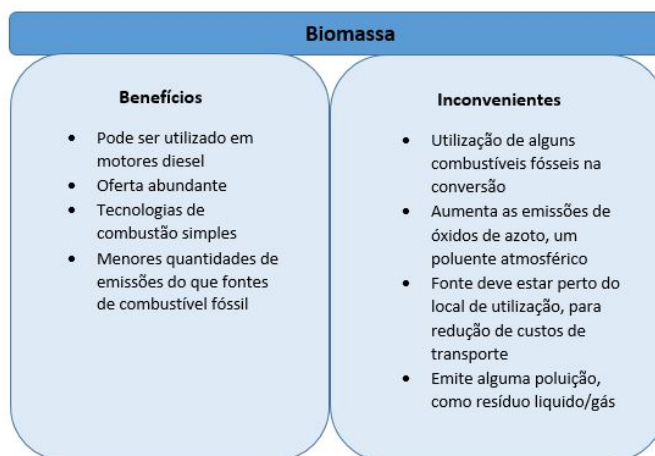


Figura 2.12: Benefícios e inconvenientes da biomassa

2.2.7 Solar



Figura 2.13: Energia Solar

A energia solar é a energia proveniente da luz e do calor do sol, é a fonte de energia mais abundante que há. Somente cerca de 60% da energia total emitida pelo sol chega a superfície terrestre, que mesmo assim é uma vasta quantidade de energia.

A energia solar pode ser aproveitada para gerar energia através de painéis solares fotovoltaicos ou painéis solares térmicos. No primeiro caso a energia solar pode ser convertida em energia elétrica por intermédio de células fotovoltaicas, que ao receberem a incidência solar produzem energia elétrica, que poderá ser injetada na rede diretamente recorrendo ao uso de um inversor, ou então armazenada numa bateria para uma utilização futura. No segundo caso a energia gerada é aproveitada para aquecimentos de fluídos por intermédios de coletores solares. O aquecimento de água ou de edifícios por esta via, é uma tecnologia economicamente e fiável em muitas circunstâncias, evitando dessa forma o uso de gás ou da eletricidade. Sendo que a geração desta forma de energia depende da incidência do sol, é de salientar que existe uma dificuldade em aproveitar esta forma de energia de uma maneira eficaz, uma vez que quando o sol se encontra encoberto de nuvens ou à noite, os painéis solares não geram energia, sendo também que o potencial solar no inverno é menor do que no verão.

Têm-se notado um crescimento da utilização da energia solar por todo mundo, em parte graças a diminuição do custo dos painéis e também devido ao facto dessa fonte energia ser limpa e praticamente inesgotável, ela revela-se como uma forte alternativa aos combustíveis e energias fósseis.[13] [15] [16]

A Figura 2.14 representa as vantagens e desvantagens dessa fonte de energia.

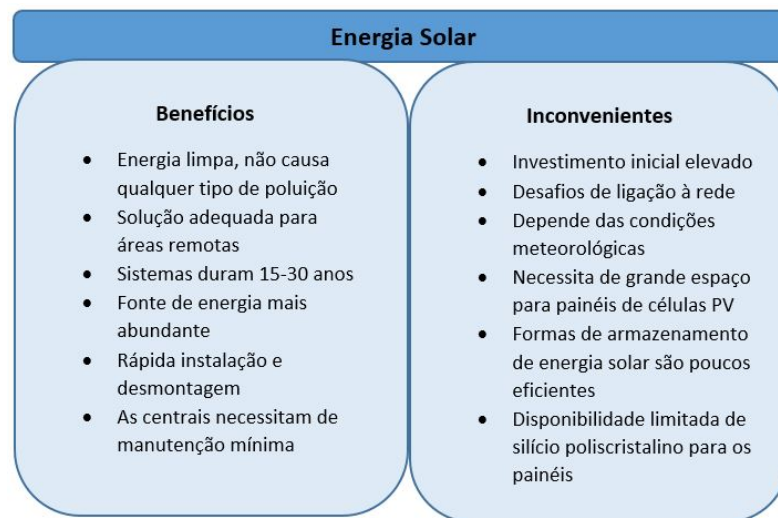


Figura 2.14: Vantagens e desvantagens de energia solar

2.2.8 Eólica



Figura 2.15: Energia Eólica

Há centenas de anos que o vento tem aplicações relacionada com a energia, já foi usado para deslocar barcos à vela, moagem de cereais, bombar água e, mais recentemente, acionar turbinas para gerar eletricidade.

A energia eólica é a energia obtida pela ação do vento, ou seja, é o resultado do processo através do qual o vento é aproveitado para gerar energia mecânica ou elétrica. Este tipo de energia está fortemente dependente de quão forte o vento sopra. A instalações de parques eólicos só é

viável em locais onde a velocidade média anual do vento é superior a 6 m/s. Os locais mais apropriados para instalação de parques eólicos são nas zonas montanhosas ou na costa.

Os aerogeradores que constituem o parque eólico, geram energia elétrica através da rotação das suas pás com a força do vento, as quais provocam a rotação do eixo do gerador. Para além das instalações em terra (onshore), as centrais eólicas também podem ser instaladas no mar (offshore), aproveitando dessa forma da grande área disponível e dos recursos que zona marítima oferece. Cerca de 25% da energia consumida em Portugal, tem origem eólica.[13] [15] [16]

As vantagens e desvantagens desta fonte de energia encontra-se ilustrada na Figura 2.16

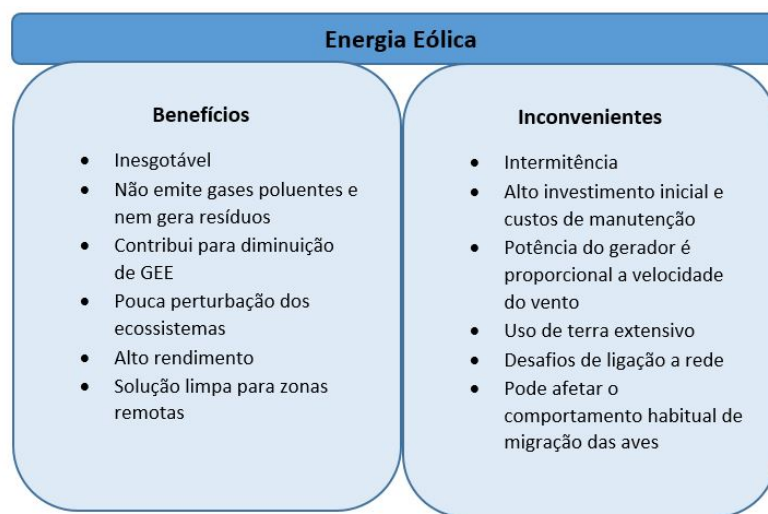


Figura 2.16: Vantagens e desvantagens de energia eólica

2.2.9 Hídrica



Figura 2.17: Energia Hídrica

A hidroelétrica encontra-se presente em mais 100 países, fornece uma quantidade considerável de energia em todo mundo, contribuindo com cerca de 15% da produção mundial de eletricidade. A energia hidroelétrica consiste em converter a energia mecânica presente num curso de água, como um rio, em energia elétrica. A produção hidroelétrica ocorre nas centrais hídricas que podem ter armazenamento em albufeira ou serem a fio de água. As centrais a fio de água aproveitam o fluxo natural do rio, não possuem albufeira. As centrais de albufeira com bombagem possuem a capacidade de reagir as variações do consumo ou da produção, aumentando dessa forma sustentabilidade energética do sistema.

A geração da energia elétrica ocorre com o acionamento (rotação) das pás das turbinas quando acontece a queda livre de água entre o nível da montante (albufeira) e o nível do rio, a jusante. Esta fonte de energia para além de contribuir para a estabilidade do sistema elétrico, trata-se de uma das fontes com maior rendimento para a produção de eletricidade. Cerca de 30% da energia elétrica consumida atualmente em Portugal é de origem hídrica. [13] [15] [16]

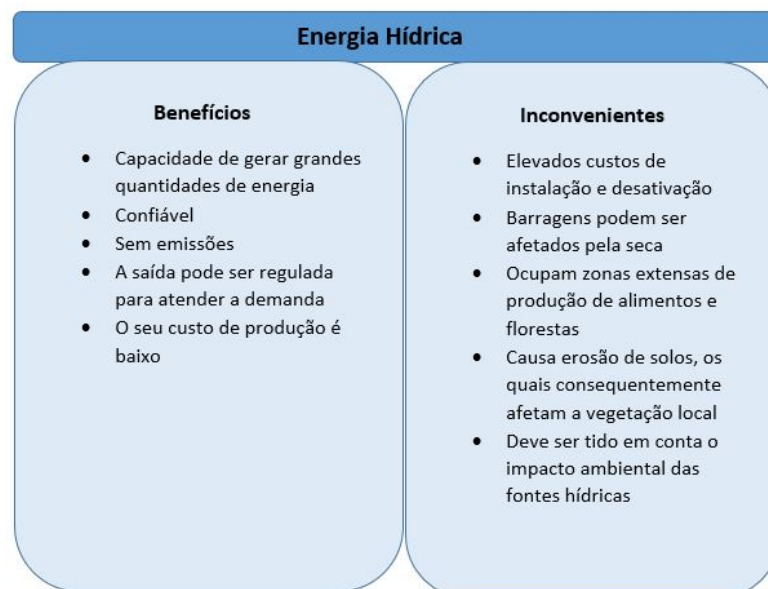


Figura 2.18: Vantagens e desvantagens de energia hídrica

2.3 Panorama energético a nível mundial

Nos últimos, tem-se verificado um aumento significativo do consumo da energia elétrica a nível mundial, e grande parte deste consumo é ainda sustentado recorrendo-se aos recursos energéticos de origem fóssil, como o carvão, o gás natural e o petróleo, como se pode verificar na Figura 2.19. Essa grande dependência face aos combustíveis fósseis, provoca uma grande libertação de gases com efeito de estufa (GEE), que acaba por comprometer a sustentabilidade ambiental a nível mundial.

O consumo energético mundial em 2013, teve um crescimento de 2,3%. Apesar da matriz energética ser muito dependente dos combustíveis fósseis, registou-se um recorde no consumo das energias renováveis e hidroelétricas como energia primária (6,7% e 2,2% respetivamente).^[1]

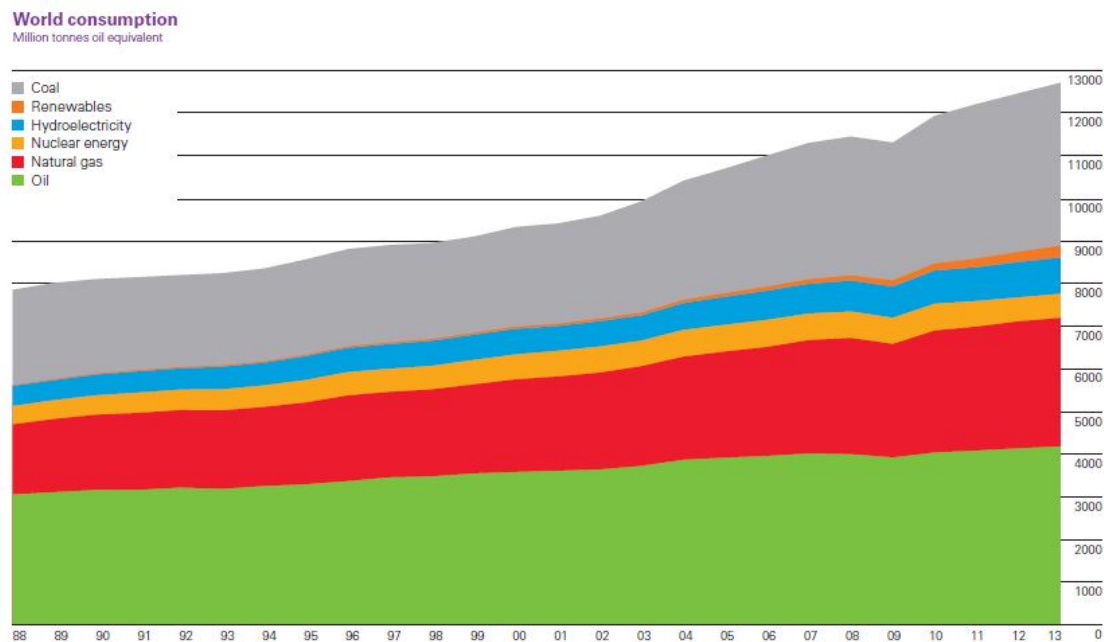


Figura 2.19: Evolução do consumo mundial de energia^[1]

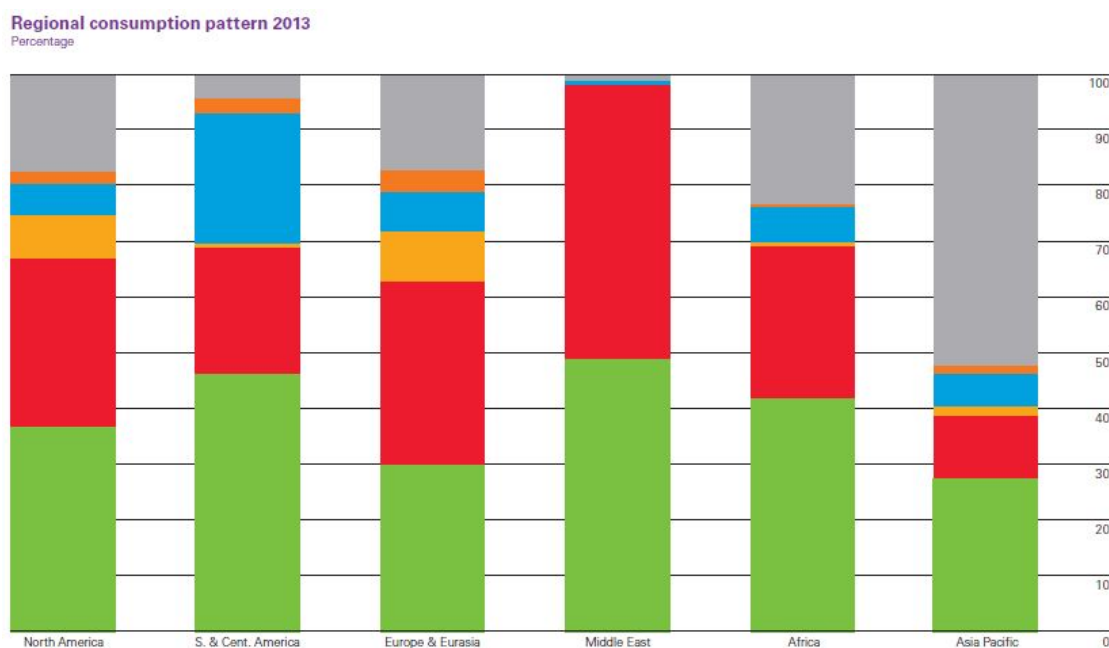


Figura 2.20: Evolução do consumo mundial de energia por região 2013^[1]

A região pacífico da Ásia é a região com maior consumo global da energia primária a nível mundial, cerca de 40,5%. Registou-se cerca de 70% de consumo do carvão a nível mundial nesta região, que é o combustível dominante desta região. No médio oriente o consumo foi dominado pelo gás natural, superando dessa forma o petróleo.

Como consequência de uma matriz energética muito dependente de combustíveis fósseis, que para além de serem esgotáveis podem provocar alterações climáticas provocadas pelas emissões de GEE, 55 países assinaram um protocolo em dezembro de 1997, onde foram definidas metas para a redução de emissões de CO₂, este acordo só entrou em vigor em fevereiro de 2005. Este protocolo, é designado de Protocolo de Quioto, trata-se de um acordo internacional vinculado à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas. Neste acordo foi estabelecido a redução de pelo menos 5% de redução de das emissões de CO₂ em relação aos níveis emitidos em 1990, no período entre 2008-2012. Até fevereiro de 2009, 173 países assinaram o tratado, os EUA que é responsável por mais de 20% das emissões equivalentes de de carbono, negaram-se em assinar o vínculo.[17]

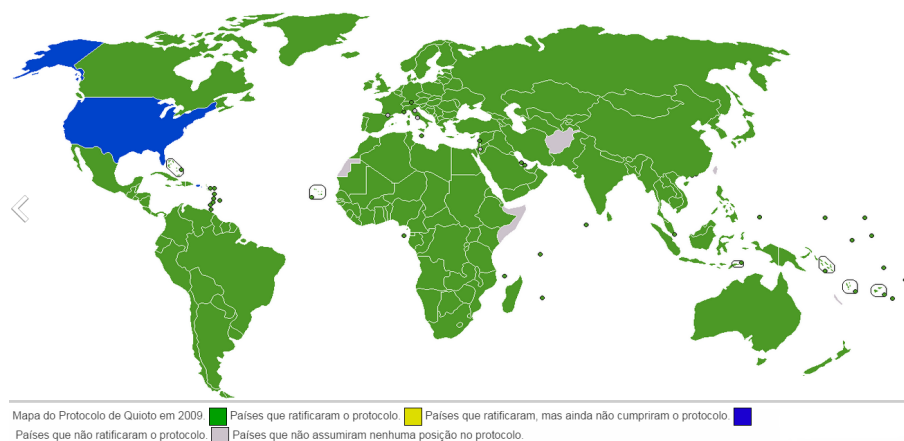


Figura 2.21: Membros do protocolo de Quioto em 2009[2]

Após o termino da primeira fase do protocolo de Quioto, foi definido em Dezembro de 2012, em Doha, Qatar, a segunda a segunda fase do protocolo válida para o período 2013-2014, ao final do qual um novo acordo deverá entrar em vigor. Durante o primeiro período 37 países industrializados e membros da União Europeia (UE), comprometeram-se a reduzir as emissões de GEE, para uma média de 5% em relação aos níveis de emissões registados em 1990. Na segunda fase os membros comprometerem-se em reduzir os níveis de emissões em pelo menos de 18 % em relação 1990 e 8% e no período 2013-2020. Entretanto, é de salientar que países como o Canada, o Japão, a Nova Zelândia e a Rússia, não assinaram a segunda fase deste compromisso, apenas a UE e sete países desenvolvidos (Austrália, Bielorrússia, Cazaquistão, Mónaco, Noruega, Suíça e Ucrânia) assinaram a segunda fase de compromissos do protocolo. Esse conjunto de países são responsáveis por menos de 15% das emissões mundiais de gases-estufa.[17][18]

Em Março de 2007, um conjunto de 27 países membros da UE, lançaram o pacote de medidas

"Energia-Clima 20-20-20", que veria a ser aprovado no dia 17 de Dezembro de 2008. Esse pacote de medidas foca essencialmente na redução das emissões de GEE, na maior implementação de medidas de eficiência energética e no incremento das energias renováveis no sistema eletroprodutor. A UE, estabeleceu as seguintes metas para este plano de racionalização energética:[19]

- Redução de pelo menos 20% na emissão de GEE, face à 1990 ;
- Alcançar mais de 20% de energias renováveis no consumo global;
- Aumentar a eficiência energética, diminuindo o consumo energético em 20%.

2.4 Panorama energético a nível nacional

Assim como a maioria dos países industrializados, uma boa parte das necessidades energéticas de Portugal é suprida recorrendo aos combustíveis de origem fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural. A escassez de recursos energéticos de origem fóssil em Portugal, não lhe permite garantir a autossuficiência, obrigando-o assim a recorrer a importação desses combustíveis de forma a satisfazer as suas necessidades energéticas. Essa dependência energética tem vindo decrescer desde 2005, face ao contributo das energias renováveis (eólica, solar, hídrica, geotérmica e biomassa). O valor mais elevado face a essa dependência foi registado em 2005 (88,8%), devido à fraca produtividade das centrais hídricas resultado de um ano hidrológico muito seco, em 2011 verificou-se uma nova subida, registou-se um aumento do consumo de carvão na produção de energia elétrica, para compensar a redução na produção hídrica. [3]

Os dados publicados pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), permite-nos observar essa taxa de dependência energética entre 2005 e 2012, como pode observar na Figura 2.22.

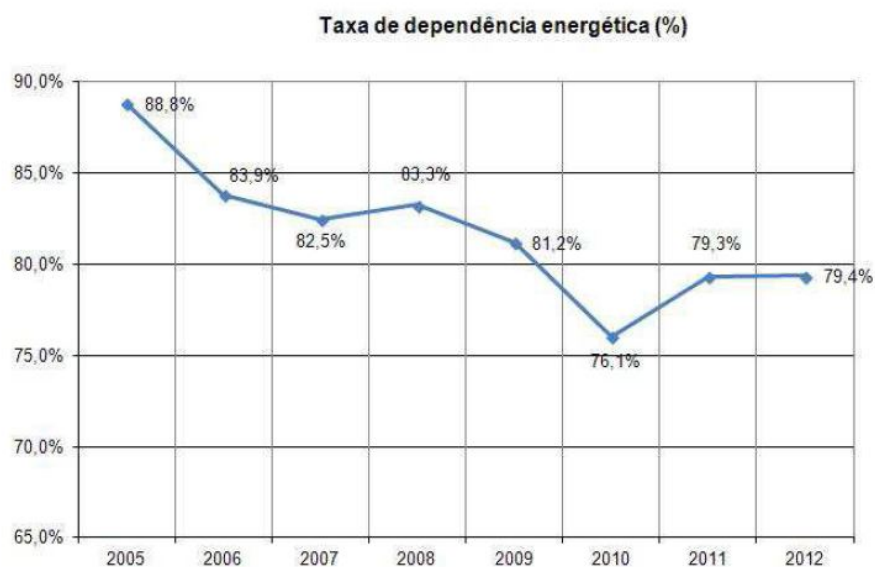


Figura 2.22: Evolução da taxa de dependência energética, entre 2005 e 2012[3]

Verifica-se que houve um decréscimo nítido da dependência energética face ao exterior, entre 2005 e 2010, com uma queda de 12,7 %. Entre 2010 e 2012, registou-se um acréscimo de 3,3 % da dependência energética, devido a fraca produção hidroelétrica, que teve consequência direta no aumento de importação de combustíveis fósseis como fonte primária, com o maior destaque para o carvão.

Apesar da grande dependência energética em relação ao exterior, em 2012 as energias renováveis contribuíram com cerca de 20,8% no consumo total de energia primária.

A evolução do consumo de energia primária em Portugal, desde de 2000 a 2012 encontra-se representado na Figura 2.23.

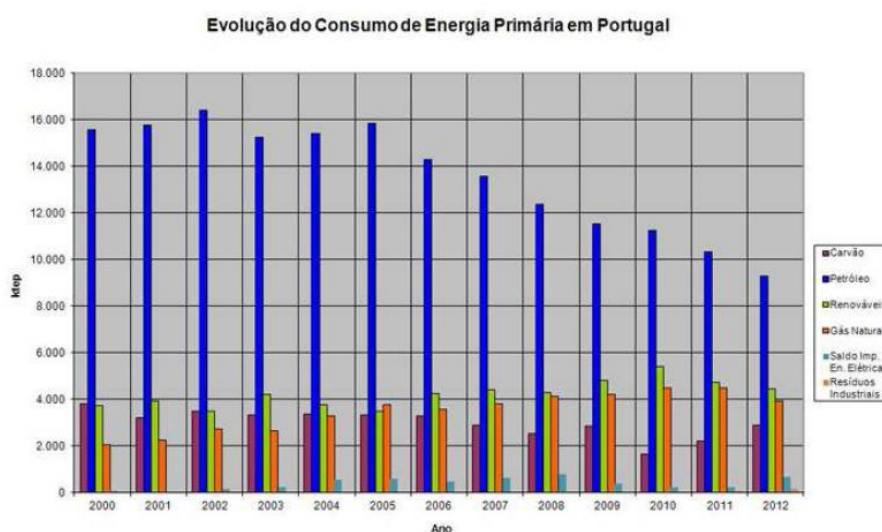


Figura 2.23: Consumo de energia primária em Portugal entre os anos 2000 e 2012[3]

A primeira década de 2000 da política energética portuguesa ficou assinalada por investimentos significativos em fontes de energia renovável. Com o estalar da crise económica e novas orientações políticas, os principais documentos da estratégia para a energia - o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) foram revistos "numa lógica de racionalidade económica e sustentabilidade. A racionalidade económica está na base do novo modelo energético que resulta, por um lado, da conjugação entre a adoção de medidas de eficiência energética e a utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis e, por outro, da redução dos sobre-custos que oneram os preços da energia".

Após a revisão destes dois planos, foram definidos novos objetivos pelo estado português. No que diz a eficiência energética, estes objetivos traduzem-se em valores muito distintos para Portugal, reduzir em pelo menos 25% o consumo da energia primária e reduzir em pelo menos 30% o consumo na Administração Pública. Em relação a utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis, o estado português está comprometido com uma meta de 31% do consumo final bruto de energia de 10% no setor dos transportes, até 2020. Estes objetivos estipulados de acordo com as metas europeias "20-20-20", pretender reduzir a dependência energética do país,

sem comprometer a segurança do abastecimento, através da promoção de um "mix" energético equilibrado.

Com a revisão do PNAEE e PNAER, pretende-se alcançar uma melhoria substancial da eficiência energética. O objetivo da nova estratégia é que o PNAEE e PNAER, permitam a Portugal cumprir todos os compromissos assumidos de uma forma economicamente mais racional. Destes objetivos destacam-se os seguintes: reduzir significativamente as emissões de GEE, de forma sustentável; reforçar a diversificação das fontes de energia primária, contribuindo para aumentar estruturalmente a segurança de abastecimento do país; aumentar a eficiência energética da economia, em particular no setor Estado, contribuindo para a redução das despesas públicas e o uso eficiente dos recursos; e ainda contribuir para o aumento da competitividade da economia, reduzindo os consumos e os custos associados ao funcionamento das empresas e à gestão da economia doméstica, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos.

O PNAEE prevê uma poupança induzida de 8,2%, relação a eficiência energética, perto da meta indicativa estipulada pela União Europeia, 9% de poupança de energia até 2016. A contribuição na redução dos consumos energéticos encontram-se distribuídos por diversos setores de atividade. Após os resultados alcançados pelo PNAEE em 2008, o atual plano passa a abranger seis áreas específicas: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura, que agregam um total de dez programas, com um leque de medidas de melhoria da eficiência energética, orientadas para a procura energética e que, de uma forma quantificável e monitorizável, pretendam alcançar os objetivos propostos.[20]

2.5 Desenvolvimento Sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no final do século XX, pela constatação de que o desenvolvimento económico deverá ter em consideração o equilíbrio ecológico e a preservação da qualidade de vida. Este conceito é um modelo de desenvolvimento global que engloba áreas económica, ecológica e sociopolítica. Uma das definições que define este conceito é a seguinte: "entende-se por desenvolvimento sustentável aquela que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras fazerem o mesmo". [21]

Para que o desenvolvimento sustentável alcance o sucesso desejado, foi estabelecido um conjunto de normas, das quais destacam-se as seguintes:

- A exploração dos recursos renováveis não deve exceder ritmos de regeneração;
- As emissões de resíduos poluentes devem ser reduzidas ao mínimo e não devem exceder a capacidade de absorção e de regeneração dos ecossistemas;
- Os recursos não renováveis devem ser explorados de um modo quase sustentável limitando o seu ritmo de esgotamento ao ritmo de criação de substitutos renováveis. Sempre que possível deverá ser feita a reutilização e a reciclagem dos resíduos resultantes da utilização de recursos não renováveis. Os resíduos de algumas atividades económicas podem em muitos casos servir como matérias-primas de outras atividades;

- Os processos económicos, sociais e ambientais estão fortemente interligados;
- O desenvolvimento sustentável vai para além da conservação ambiental;
- As atividades desenvolvidas no presente e no médio prazo devem garantir a satisfação global das necessidades das gerações futuras;
- O desenvolvimento sustentável apela a mudanças estruturais a longo prazo na economia e no sistema social, com o objetivo de reduzir o consumo dos recursos naturais mantendo o potencial económico e a coesão social.

Os princípios do desenvolvimento sustentável, no âmbito de energia, assentam-se principalmente na produção recorrendo a fontes renováveis e na eficiência energética. De uma certa forma só se alcança um desenvolvimento sustentável, se o desenvolvimento social, económico e ambiental estiverem em sintonia. [21]

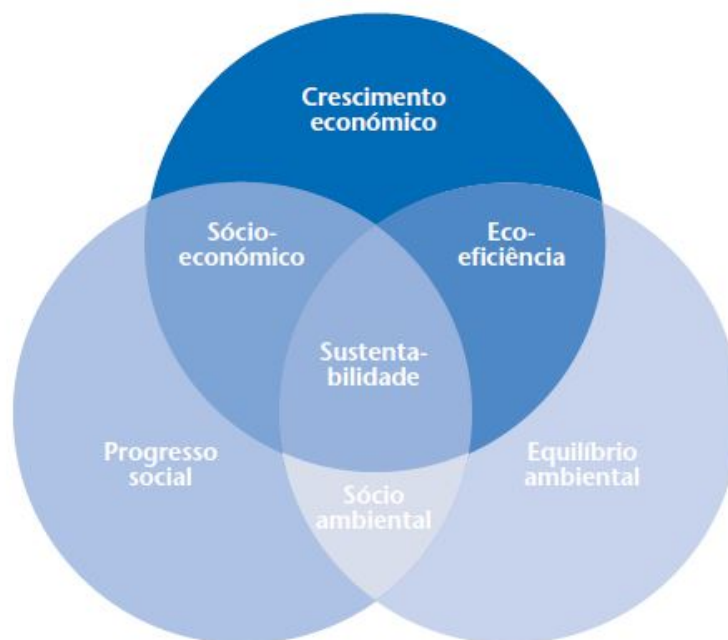


Figura 2.24: Base para um desenvolvimento sustentável

Capítulo 3

Eficiência Energética

A eficiência energética ou simplesmente utilização racional de energia tem vindo a ganhar cada vez mais importância nesses últimos anos, assumindo-se como elemento chave no combate a redução dos consumos energéticos. Para que a redução dos consumos seja alcançada o setor doméstico, os setores de serviços e indústria, tem que dar a sua contribuição de forma a minimizar os seus custos e a promover sustentabilidade política, económica e ambiental. A economia de energia pode ser alcançada através de escolha e utilização adequada dos equipamentos sem comprometer o conforto, o bem-estar e a produtividade dos utilizadores.

A nível nacional foram desenvolvido programas e planos para dinamização das medidas em volta das políticas energéticas, de forma a cumprir o objetivos de racionalidade económica, sustentabilidade ambiental e energética. Os programas desenvolvidos foram o Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética (PNAEE), Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER) e o Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública (ECO.AP).

A implementação e identificação de medidas que permitam obter a racionalização energética dos consumos desejada, deve ter em conta o seguintes fatores:

- Identificação dos principais consumidores;
- Conhecimento das soluções disponíveis no mercado;
- Assegurar sucesso na implementação;
- realização de uma fiscalização precisa das condições de operação e manutenção.

A redução dos consumos energéticos só é possível graças à:

- Utilização de equipamentos com altos rendimentos;
- Omissão de consumos supérfluos;
- Diminuição das perdas de energias;
- Adaptação funcional de equipamentos existentes.

A melhoria da eficiência energética deve-se muito à redução de energia consumida num determinado serviço ou atividade, normalmente ao nível de aquecimento, iluminação e a classe de eficiência dos motores. A desativação das luzes em áreas desocupadas e regulação térmica da temperatura ambiente, são alguns exemplos que mostram como a eficiência energética pode ser aperfeiçoada.

3.1 Gestão de Energia

A gestão eficiente de energia e a utilização racional de energia, atualmente desempenham um papel de extrema importância na otimização do consumo de energia, refletindo diretamente na redução da fatura energética. No caso de instalações existentes o segredo para se alcançar uma boa gestão energética deve-se a algumas medidas, tais como as auditorias energéticas programadas, utilização racional de energia por parte dos utilizadores e nomeação de um gestor de energia.

3.1.1 Processo de Gestão de Energia

O formato do processo de gestão de energia pode variar consoante a complexidade e características apresentada pela instalação consumidora em análise. Desde modo, cabe ao gestor de energia a capacidade de decidir qual o melhor método a seguir, de forma a otimizar a eficiência energética da instalação consumidora, tendo em conta as características da mesma.[\[22\]](#)

Sendo assim, é vital que o método empregado permita:

- fazer a medição da energia consumida e o custo associado, quer a nível global como por setor da instalação;
- Determinar o peso da energia no preço final do produto ou serviço;
- Analisar a situação existente, de forma a determinar os pontos de ação de estratégias, afim de alcançar os objetivos;
- Avaliar e acompanhar a rentabilidade dos investimentos em eficiência energética.

A Figura [3.1](#) ilustra uma metodologia para a execução de um processo de gestão de energia, direcionado especialmente para instalações já existentes.

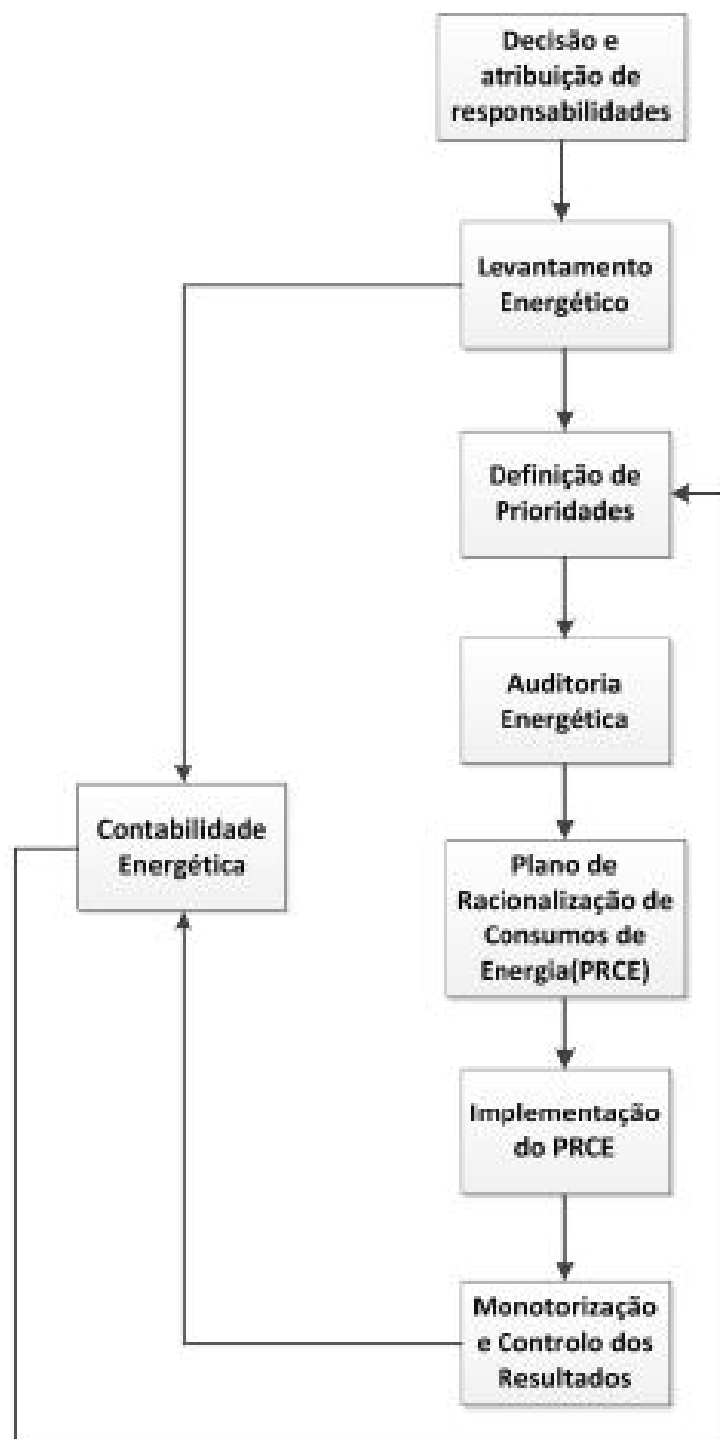


Figura 3.1: Processo de Gestão de Energia
[22]

3.1.2 Auditorias Energéticas

A auditoria energética consiste num processo de diagnóstico detalhado da situação energética de uma entidade consumidora. Este termo normalmente é utilizado para descrever um conjunto de estudos energéticos, que variam desde uma simples vistoria das instalações com a intenção de identificar possíveis problemas, até uma análise detalhada de medidas alternativas de eficiência energética suficientes com o intuito de satisfazer os critérios financeiros dos investidores mais exigentes.

As metas das auditorias energéticas têm como propósito dar respostas às seguintes questões: "Onde se consome a energia? Como se consome a energia?" e "Porque se consome energia?". Para se atingir esses propósitos é essencial a elaboração de um plano de intervenção estratégico que permita definir as decisões a serem tomadas, tal como as metas a serem alcançadas relativas à redução dos consumos energéticos proporcionando desta forma a redução da mesma. Uma auditoria energética normalmente encontra-se dividida em 4 fases seguintes: Preparação da auditoria, intervenção no local, tratamento da informação recolhida e elaboração do relatório final. O relatório final deve retratar o estado das instalações, processos ou equipamentos, assim como recomendações de medidas de intervenção e a sua viabilidade.[22]

A seguir são apresentadas os três tipos de auditoria, que variam consoante o grau de detalhe, e que por esse motivo têm também, associados diferentes custos.

3.1.2.1 Auditoria Preliminar

A auditoria preliminar também designada de diagnóstico energético, é a mais rápida e elementar forma de auditoria. Este tipo de auditoria baseia-se na análise das faturas energéticas e outros dados considerados importantes. Também recorre a vistorias à instalação consumidora de forma a identificar possíveis áreas de desperdício ou de ineficiência energética. Este tipo de auditoria deteta apenas os problemas com maior visibilidade. As medidas corretivas e os custos estimados são descritas sucintamente, os potenciais de poupança, o cálculo dos períodos de retorno do investimento e potenciais de poupança são feitos de forma simplificada. Este tipo de auditoria assume um papel pertinente, na fase inicial de gestão energética permite, estabelecer prioridades de atuação e determina a necessidade de auditoria mais detalhada.[22]

3.1.2.2 Auditoria Geral

A auditoria geral é o engrandecimento da auditoria preliminar, recolhe a informação de uma forma detalhada sobre as operações e realiza uma avaliação sobre as medidas de eficiência energética identificadas. A análise das faturas energéticas, relativos a um período de faturação, poderá chegar até 36 meses, possibilitando dessa forma ao auditor identificar os perfis de utilização e as necessidades da instalação. Pode-se realizar medições adicionais dos sistemas consumidores de energia específicos, afim de se obter informação adicionais. Este tipo de auditoria permite identificar todas as medidas de conservação de energia adequadas para os parâmetros de operação da

instalação em análise. Realiza-se uma análise detalhada de investimento, para cada medida baseada em custos de implementação exatos, no potencial de poupança a atingir e no critério de investimento do cliente. Faculta-se toda informação que poderá ser útil para a justificação do projeto.[22]

3.1.2.3 Auditoria Detalhada

A auditoria detalhada, também designada por auditoria técnica, estende-se da auditoria geral através da criação de um modelo dinâmico da utilização de energia nas condições atuais de exploração e também para todas as medidas de eficiência energética identificadas. O modelo é calibrado de encontro aos dados de serviço reais, proporcionando dessa forma uma base realista para o cálculo das reduções de custos associados às medidas propostas. É realizada uma análise e monitorização completa de todos os sistemas consumidores de energia, que podem causar variações nos perfis de cargas em bases diárias e anuais.[22]

3.1.3 Gestor de Energia

O gestor de energia, tem vindo a assumir um papel cada vez mais relevante, devido a complexidade que as instalações consumidoras de energia tem vindo a apresentar, relacionados com a gestão de energia, mais concretamente com a utilização racional de energia, em que várias vezes a presença do gestor de energia é imprescindível.

O gestor de energia é a pessoa responsável, pela implementação, monitorização e avaliação do plano de gestão de energia. O gestor de energia deve reunir os seguintes requisitos: formação superior especializada na área de energia; conhecimento dos regulamentos, legislação e recomendações da área de gestão de energia; experiência em gestão de projetos; conhecimento das tecnologias energeticamente eficientes; conhecimento profundo dos serviços e processos da instalação, competência para dialogo e negociação. Cabe ao gestor de energia analisar a fatura energética, de forma a verificar se satisfazem as necessidades e interesses da instalação consumidora, realizar auditorias ao consumo energético e ao estados dos equipamentos com acompanhamento das ações de manutenção, bem como promover uma cultura de poupança de energia.

A finalidade do gestor de energia passa pela elaboração e implementação de um sistema de gestão de energia, afim de identificar como e onde a energia é consumida assim como os seus respetivos custos. Depois de reunir as informações necessárias, este irá elaborar um plano com a definição de metas, objetivos e os recursos necessários.[22][23][24]

3.2 Métodos para a Otimização da Eficiência Energética

Atualmente o setor dos edifícios é responsável por cerca de 40% do consumo da energia final na Europa e cerca 30% para Portugal. Estima-se que mais de 50% desde consumo pode ser reduzido através das medidas de eficiência energética. Esta medida poderá levar a uma redução de cerca de 400 milhões de toneladas de CO₂ por ano.[10]

Como as necessidades energéticas e as características variam consoante a instalação consumidora, as medidas de otimização da eficiência energética a ser aplicado na maioria dos casos não será homogêneo. Cabe a equipa de gestão de energia da instalação consumidora em análise decidir as áreas onde a eficiência energética pode ser otimizada. A redução da fatura energética da instalação consumidora poderá alcançar valores significativos atuando nas seguintes setores: iluminação; Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, isolamento térmico, equipamentos, implementação da gestão técnica centralizada, controlo da potência de ponta e controlo do trânsito da potência reativa.

3.2.1 Iluminação

O consumo da energia elétrica em iluminação tem um peso bastante significativo a nível mundial, representando cerca de 12% do consumo no setor residencial e cerca de 20% no setor dos serviços na União Europeia. A iluminação é um dos setores onde o investimento em soluções energeticamente eficiente é mais premiada tanto a nível económico como a nível do conforto e bem estar.[10]

As tecnologias e equipamentos são instaladas atualmente tendo em conta a norma EN 12464-1 sobre a iluminação, de forma a garantir os níveis de iluminância recomendáveis para os locais de trabalho. Essas tecnologias permitem reduzir os custos associados a manutenção dos sistemas de iluminação, e também permitem alcançar uma redução bastante significativa da fatura energética. Para que as condições de iluminação da instalações sejam otimizadas , é necessário ter em conta os seguintes aspetos[25]:

- Aproveitar ao máximo à iluminação natural;
- Dimensionar o sistema de iluminação de acordo com os valores recomendados pela norma;
- Utilizar luminárias com o maior rendimento;
- Utilizar sistemas de controlo de iluminação automático;
- Implementar e cumprir um programa de manutenção das instalações para a limpeza e para substituição de equipamentos avariados.

O tempo do retorno do investimento para este tipo de soluções, por norma são geralmente curtos.

A iluminação será retrata com mais pormenor no capítulo quatro.

3.2.2 Sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

Os sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC), tem um peso bastante significativo na fatura energética nos edifícios de serviços. Por isso os sistemas de AVAC devem ser devidamente dimensionados para o controlo das condições ambientais no interior dos edifícios e deverão apresentar as condições necessárias para um desempenho eficiente.

O desempenho do sistema de AVAC de uma escola pode ser otimizado, recorrendo-se as seguintes medidas [26][23][22]:

- Temperatura ambiente: regular a temperatura ambiente entre os seguintes valores:
 - Locais com ar condicionado:
Aquecimento: 18°C - 20°C | Arrefecimento: 25° - 28°C
 - Locais sem ar condicionado
Aquecimento: 18°C -20°C

Realizar limpeza regular dos filtros de ar; desligar os equipamentos no fim do dia do trabalho.

- Painéis solares térmicos: recorrer aos painéis solares térmicos para o aquecimento das Águas Quentes Sanitárias (AQS), com os termoacumuladores.
- Termoacumuladores: regular a temperatura das AQS nos 60°C; centralizar o sistema de aquecimento de AQS; melhorar o isolamento térmico nos acumuladores e redes de distribuição de AQS.
- Geradores de calor/ Caldeiras: substituir equipamentos em prol da eficiência energética; assegurar a manutenção e configuração adequada dos parâmetros de combustão das caldeiras; afinar os parâmetros de queima dos geradores de calor, para otimizar as condições de funcionamento; eliminar as fugas de fluídos quentes; dimensionamento otimizado dos meios de aquecimento, transporte e distribuição de calor.

3.2.3 Envolvente do Edifício

A renovação e reabilitação da envolvente do edifício, podem trazer economias significativas de energia em consequência da diminuição dos consumos da energia térmica e elétrica. Dependendo da performance do envolvente, esta economia pode chegar até aos 30%.

Para que eficiência energética de um edifício seja otimizada, é vital que este possua um isolamento térmico. Essa otimização pode ser alcançada, implementando as seguintes medidas[23]:

- Escolha adequada de caixilharias e envidraçados, para controlar as perdas e ganhos de calor dos envidraçados;
- Instalação adequada de sombreamentos, para controlar os ganhos de calor nos vãos envidraçados;
- Melhoria do isolamento térmico de paredes, coberturas e pavimentos, para um melhor controlo dos ganhos das superfícies opacas;
- Aperfeiçoamento das caixilharias das portas, janelas, fissuras nas paredes, juntas entre os diferentes elementos da envolvente, reduzir a infiltração de ar através da envolvente;

- Controlar a ventilação para recuperar o calor do ar da saída;
- Utilização de vegetação para sombreamento das superfícies no verão e para redução da temperatura do ar em volta do edifício.

As pontes térmicas são evitadas com isolamento térmico uniforme da superfície envolvente, que é garantido através da performance dos componentes individuais. Para que o isolamento térmico seja otimizado é necessário que haja uma boa combinação entre a ventilação natural e os sistemas de sombreamento.

Muitas das soluções de isolamento térmico da envolvente do edifício deverão ser equacionadas, quando esta for alvo de uma remodelação, justificando em termos económicos e funcionais algumas das soluções propostas. Estas questões merecem muita atenção na sua análise de forma que os benefícios da poupança de energia, não coloca o conforto térmico e a qualidade de ar em causa. Estas medidas devem estar incorporadas com as principais características construtivas, arquitetónicas e as respetivas funções que cada edifício desempenha.

3.2.4 Gestão Técnica Centralizada

A Gestão Técnica Centraliza (GTC) é um elemento primordial na estratégia de eficiência energética de um edifício, a implementação deste sistema permite acrescentar uma poupança até 24% no consumo [27]. Para que essa poupança seja alcançada, é necessário fazer um investimento inicial, de forma a introduzir sistemas de inteligência artificial no controlo dos edifícios. Os sistemas de GTC são constituídos por sensores e atuadores que permitem monitorizar, controlar, comandar e gerir, de forma integrada, as várias instalações existentes no edifício, tais como o sistema de iluminação, os sistemas de AVAC, contadores de energia, segurança, entre outros. As informações são enviadas para um ou mais computadores, dependendo dos casos. A comunicação é feita a partir de protocolos aos quais os fabricantes dos sistemas gestão aderem, implementando-os no seus equipamentos. Alguns exemplos protocolos são KNX-EIB (*Konnex-European Installation Bus*) e a DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*).

A principal motivação, que leva a instalação do sistema de GTC, num edifício, deve-se a uma maior otimização da eficiência energética do edifício e um esforço mínimo de manutenção que é alcançada com este sistema, proporcionando dessa forma um ambiente seguro e confortável aos utilizadores. Pois este sistema permite otimizar e automatizar o funcionamento dos diversos equipamentos que fazem parte do edifício.[27][28]

Capítulo 4

Iluminação

A iluminação assume-se atualmente como um fator crucial perante a sociedade, tem uma forte influência no desempenho, na qualidade de vida dos utilizadores, tanto a nível profissional, como a nível de lazer. O desenvolvimento de tecnologias a nível de iluminação tem vindo a crescer ao longo desses anos, otimizando dessa forma o conforto e o bem estar dos utilizadores.

Neste capítulo serão abordadas questões relacionadas com os diversos equipamentos que constituem o sistema luminotécnico, como as lâmpadas, as luminárias e os seus respetivos acessórios. Também serão abordadas questões relacionadas com o sistema de gestão de iluminação, mais concretamente os métodos utilizados na gestão da iluminação.

4.1 Grandezas Luminotécnicas

4.1.1 Fluxo Luminoso



Figura 4.1: Fluxo Luminoso[4]

O fluxo luminoso (ϕ) é a quantidade de luz emitida a cada segundo por uma fonte luminosa, cuja a unidade de medida SI é o lúmen (lm).[4]

4.1.2 Intensidade Luminosa

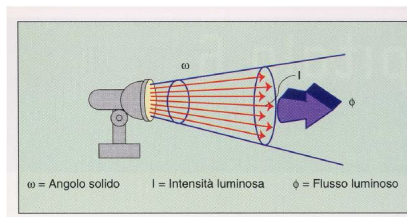


Figura 4.2: Intensidade Luminosa[5]

A intensidade luminosa (I) é o fluxo luminoso compreendido na unidade do ângulo sólido (ω) no qual é emitido, pressupondo-se que a fonte luminosa é pontual. A unidade de medida SI é a candela (cd)[5]

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (4.1)$$

4.1.3 Iluminância

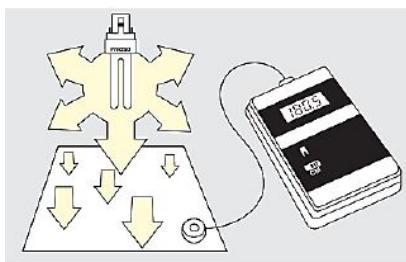


Figura 4.3: Iluminância[4]

A iluminância é a quantidade de luz (fluxo luminoso) que atinge uma unidade de área de uma superfície por segundo. A unidade de medida é o lux, que é equivalente ao lúmen por metro quadrado. A medição da luminância pode ser feita por intermédio do luxímetro.

$$E = \frac{\phi}{A} \quad (4.2)$$

Em que E é a iluminância (lux), A é a área (m^2) e ϕ é o fluxo luminoso (lúmens).

Como a distribuição do fluxo luminoso não é uniforme, o valor da iluminância varia em função do ponto onde se efetua a medição, por isso o nível de iluminância considerado será o valor médio entre as várias medições realizadas. Os valores da iluminância média (E_m) para os locais de locais de trabalho interiores, estão definidos na norma europeia EN-12464.[4]

4.1.4 Luminância

A luminância é definida como sendo a intensidade luminosa emitida por unidade de área projetada por uma superfície numa determinada direção. Por outras palavras é a sensação de claridade que é transmitida ao olho humano, provocada pela intensidade de luz refletida numa determinada direção.[4]

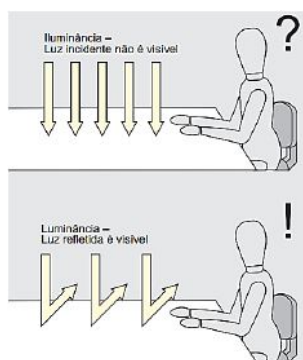


Figura 4.4: Luminância[4]

A equação que permite a sua determinação é a seguinte:

$$L = \frac{I}{A \times \cos \alpha} \quad (4.3)$$

Em que L é a luminância ($\frac{cd}{m^2}$), I é a intensidade luminosa (cd), A é área projetada (m^2) e α é o ângulo de incidência (graus).

4.2 Luminárias

As luminárias são conhecidos como aparelhos que servem para fixar e proteger as lâmpadas. Desempenham um papel muito importante num sistema de iluminação, uma luminária eficiente garante um melhor aproveitamento do fluxo luminoso, na direção desejada, garantindo dessa forma o conforto e o bem estar dos utilizadores. Por isso é necessário ter especial atenção para a escolha da armadura, mesmo que a lâmpada apresenta boas características, se a armadura escolhida for ineficiente o performance da lâmpada e o conforto dos utilizadores estarão em causa. As luminárias devem proporcionar a segurança necessária para a instalação, bem como a correta emissão do fluxo luminoso da lâmpada no ambiente sem causar encandeamento.

4.2.1 Tipos de Luminárias

Os diferentes tipos de luminárias existentes são distinguidos umas das outras, conforme a distribuição da luz que elas apresentam. A escolha é feita tendo em conta as necessidades da instalação consumidora e o gosto da pessoa ou equipa responsável pela instalação.

4.2.1.1 Luminária de Luz Direta



Figura 4.5: Luminária de Luz Direta

O fluxo luminoso emitido por esta luminária é dirigido diretamente para o plano de trabalho, pelo menos 90% do fluxo luminoso é dirigido para baixo. Este tipo de luminária evita que haja grandes perdas por absorção no teto das paredes. Produz grandes sombras e encandeamento.[6]

4.2.1.2 Luminária de Luz Semidireta



Figura 4.6: Luminária de Luz Semidireta[6]

A distribuição do fluxo luminoso neste tipo de luminária é feita de uma forma mais uniforme em comparação com as luminárias de luz direta. 60% a 90% do fluxo luminoso é dirigido para a superfície a iluminar, sendo que o restante dirige-se noutras direções.[6]

4.2.1.3 Luminária de Fluxo Luminoso Misto



Figura 4.7: Luminária de Fluxo Luminoso Misto[6]

O fluxo luminoso distribui-se em todas as direções. Esta distribui-se de forma simétrica de forma a ser dirigido diretamente para baixo e para cima. Não existem zonas de sombreamento praticamente, uma boa parte do fluxo luminoso chega ao plano de trabalho por reflexão no teto e paredes.[6]

4.2.1.4 Luminária de Luz Semi-Indireta



Figura 4.8: Luminária de Luz Semi-Indireta[6]

Cerca de 60% a 90% do fluxo luminoso neste tipo de luminária é direcionado para o teto. Como a maior parte do fluxo luminoso é dirigido para o teto, as sombras são suaves e menos marcadas. Este tipo de luminária tem como propósito criar um efeito de "luz suave".[6]

4.2.1.5 Luminária de Luz Indireta



Figura 4.9: Luminária de Luz Indireta[6]

Este tipo de luminária tem como objetivo criar um efeito de "luz suave", podem ser aplicadas em salas, quartos, escritórios, etc. Este tipo de luminária não produz encandeamento, cerca de 90% a 100% do fluxo luminoso é dirigido para o teto, eliminando assim o desconforto visual, todavia os consumos são mais elevados.[6]

4.3 Lâmpadas

A iluminação é um elemento indispensável nos dias de hoje, há sempre uma necessidade de recorrer a utilização da luz artificial, quer seja nos períodos noturnos, nos dias mais enevoados ou para completar a luz natural, quando esta fica abaixo dos níveis aceitáveis. Tendo em conta a diversidade das lâmpadas existentes no mercado, torna-se crucial saber distinguir as lâmpadas tendo em conta as suas características. De seguida são apresentadas as características mais relevantes, que diferenciam as lâmpadas entre si.

4.3.1 Características das Lâmpadas

4.3.1.1 Duração Média de Vida

É definida como sendo o número de horas decorridos, até que 50% de um lote significativo de lâmpadas acesas deixa de emitir o fluxo luminoso. A duração média de vida de uma lâmpada varia consoante o tipo da mesma.[29]

4.3.1.2 Índice de Restituição Cromática

O Índice de Restituição Cromática (IRC), também designado por Ra, é capacidade de uma fonte luminosa restituir fielmente as cores de um objeto ou de uma superfície iluminada. O valor do IRC, varia entre 0 e 100. Sendo que o valor 100 corresponde a melhor performance de reprodução de cores através de uma fonte de luz artificial. A tabela 4.1 representa a classificação do IRC, em função da qualidade cor restituída.[29]

Tabela 4.1: Classificação de restituição de cores, em função do IRC

Índice de Restituição Cromática (IRC)	Classificação
$IRC < 60$	Pobre
$60 < IRC < 80$	Boa
$80 < IRC < 90$	Muito Boa
$90 < IRC < 100$	Excelente

4.3.1.3 Temperatura de Cor

A temperatura de Cor (T_c) expressa a aparência de luz emitida pela fonte luminosa e a sua unidade de medida é o Kelvin (K). Quanto mais elevada for a T_c , mais fria será a sensação da luz emitida pela fonte e quanto menor for a temperatura mais quente será sensação emitida pela fonte de luz. Quando se fala em luz quente ou fria, não se está a referir o calor físico da lâmpada, mas sim a tonalidade de cor que ela revela ao ambiente.

Uma luz com a tonalidade de cor mais suave (quente), torna-se mais aconchegante e relaxante, enquanto que a luz clara (fria), torna-se mais estimulante. A tabela 4.2 representa a classificação da temperatura de cor.[29] [7]

Tabela 4.2: Classificação de Temperatura de Cor

Cor	Temperatura de Cor
Branco quente	$T_c < 3300 \text{ K}$
Branco neutro	$3300\text{K} < T_c < 5000 \text{ K}$
Luz fria	$T_c > 5000 \text{ K}$

4.3.1.4 Rendimento Luminoso

É o quociente entre fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência absorvida pela mesma. A unidade de medida é lúmen por watt (lm/W). O rendimento luminoso é um elemento relevante na seleção de uma lâmpada em prol da eficiência energética. O rendimento luminoso é o fator chave para se comparar duas lâmpadas com o mesmo fluxo luminoso, quanto maior for o quociente entre o fluxo luminoso e a potência absorvida, maior será o rendimento o rendimento da lâmpada.[29]

4.3.1.5 Classe de Eficiência Energética

A classe de eficiência energética permite classificar as lâmpadas quanto a sua eficiência energética. Esta classificação encontra-se em sete categorias diferentes, A++, A+, A, B, C, D e E, sendo a categoria A++ o mais eficiente energeticamente e a categoria E o menos eficiente. A informação sobre a classe energética das lâmpadas, encontra-se representada na etiqueta energética da mesma, como se pode observar na figura 4.10 [7]

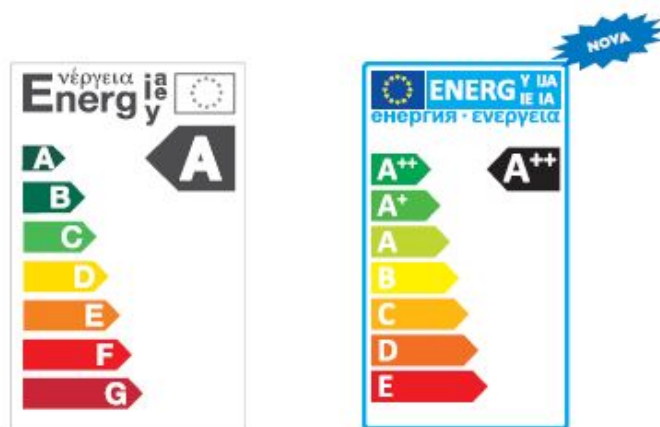


Figura 4.10: Etiqueta energética das lâmpadas[7]

A etiqueta do lado esquerdo corresponde à etiqueta antiga e a da direita corresponde à nova.

4.3.1.6 Tipo de Casquilho

O casquilho é a parte da lâmpada que permite a sua fixação à luminária. Existem vários tipos de casquilhos para os diferentes tipos de lâmpadas existentes no mercado. Os casquilhos são identificados por um código próprio. Nas figuras que se seguem são apresentados alguns tipos de casquilhos mais utilizados acompanhado dos seus respetivos códigos.[8]

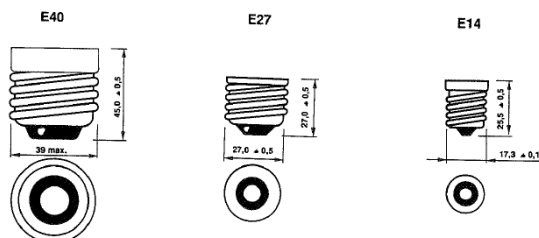


Figura 4.11: Casquilho para lâmpadas incandescentes[8]

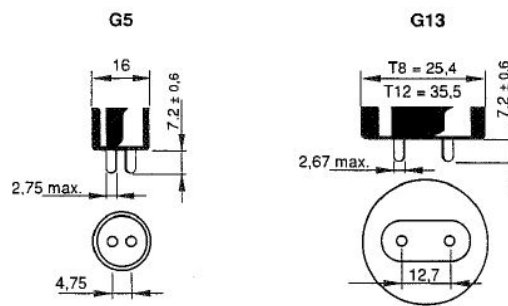


Figura 4.12: Casquilho para lâmpadas fluorescentes lineares[8]

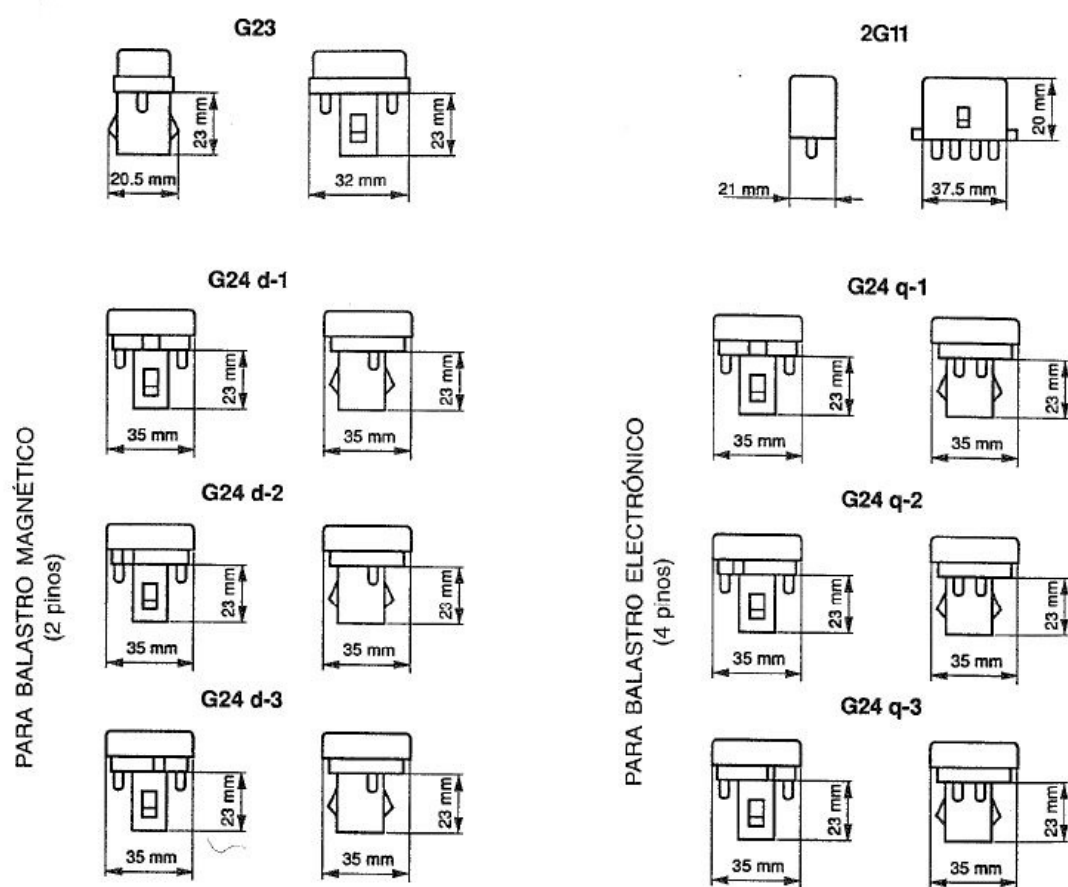


Figura 4.13: Casquilho para lâmpadas fluorescentes compactas[8]

4.3.2 Classificação das Lâmpadas

4.3.2.1 Tipo de Lâmpadas

Os principais tipos de lâmpadas existentes no mercado, dividem-se em quatro famílias: Lâmpadas incandescentes; lâmpadas de indução, lâmpadas de descarga e lâmpadas LED. A figura 4.11

ilustra essas quatro famílias de lâmpadas.

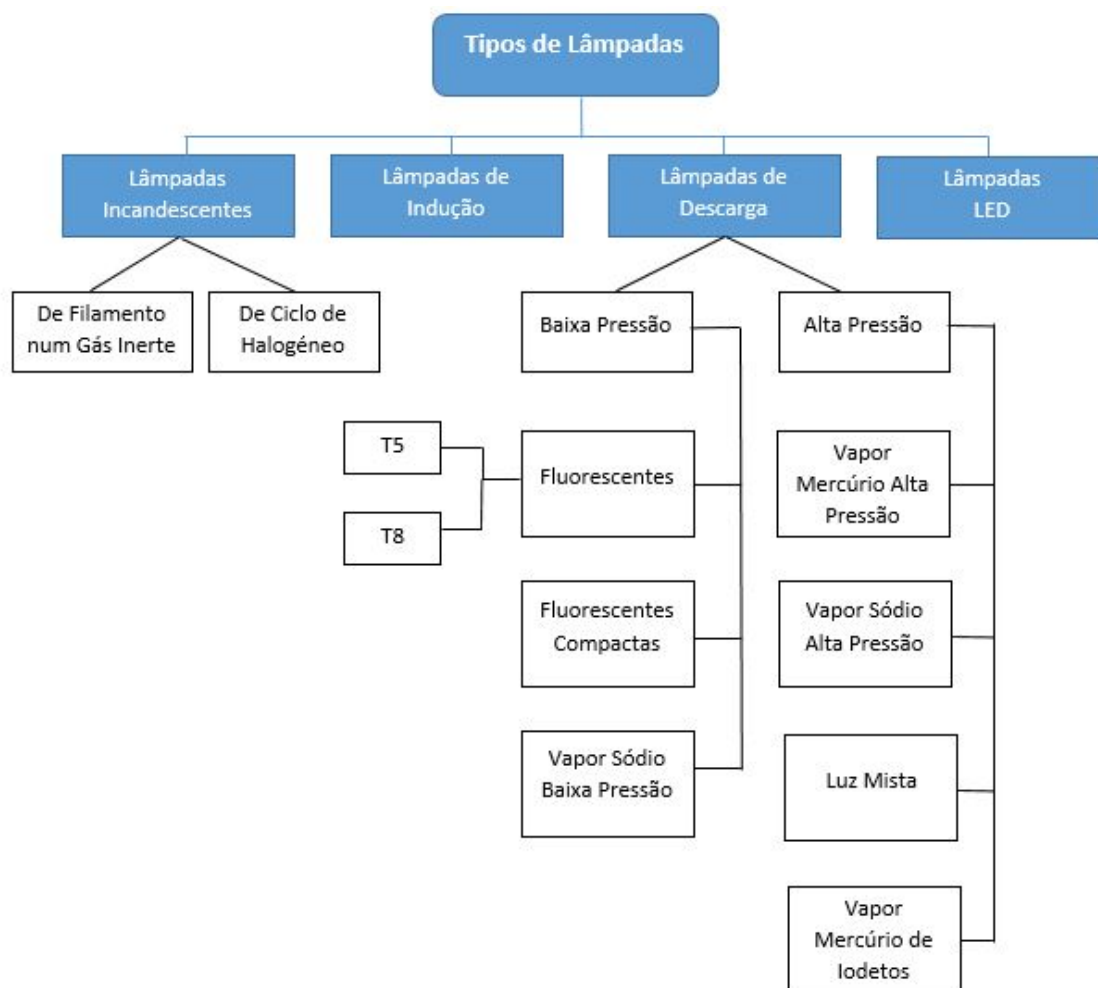


Figura 4.14: Tipos de lâmpadas [5]

4.3.2.2 Lâmpadas Incandescentes

As lâmpadas incandescentes dividem-se em dois tipos: lâmpadas de filamentos e lâmpadas de halogéneo.

Nas lâmpadas de filamento a luz é produzida pela passagem da corrente elétrica pelo filamento de tungsténio. Quanto maior for a temperatura do fio, maior é a quantidade de luz emitida. O filamento de tungsténio encontra-se inserido dentro de uma ampola de vidro, preenchida com um gás inerte, o árgon, o azoto ou o cripton. Desses gases o cripton é o que permite obter um melhor rendimento, uma vez que tem menos perda, mas devido ao seu elevado custo em comparação com os outros, é utilizado em lâmpadas especiais apenas. A ampola pode ser em vidro prensado, soprado ou refletor. A figura 4.15 ilustra o exemplo de uma lâmpada de filamento. [9][8]



Figura 4.15: Exemplo de lâmpada de filamento

Em termos de eficiência, as lâmpadas de filamento são as menos eficientes, sendo que apenas 5% da energia é aproveitada sob a forma de luz, enquanto que os 95% restantes são desperdiçados sob a forma de calor.

As principais características deste tipo de lâmpada encontra-se resumida na tabela 4.3.

Tabela 4.3: Principais características das lâmpadas de filamento

Lâmpadas de filamento	
Duração Média de Vida (h)	1000
IRC	100
Temperatura de Cor (K)	2700
Rendimento Luminoso (lm/W)	10 a 15
Tempo de Arranque	Instantâneo
Custo	Baixo
Tipo Casquilho	Edison ou Baioneta
Equipamentos Auxiliares	Não
Classe Energética	E

Dentro da família de lâmpadas de incandescência, temos as lâmpadas de halogéneo, que têm o mesmo princípio de funcionamento que as lâmpadas de filamento. As lâmpadas de halogéneo para além de serem preenchidas com gases inertes também contém os gases de halogéneo (iodo, cloro, bromo), que capturam os átomos de tungsténio e os transportam de volta para o filamento. O gás de halogéneo permite reduzir o tamanho da lâmpada e permite uma duração média de vida mais longa em comparação com a lâmpadas de filamento.[29][8]



Figura 4.16: Exemplo de lâmpada de halogéneo

Tendo em conta a tensão de alimentação as lâmpadas de halogéneo dividem-se em duas classes: as alimentadas a 230 V e as alimentadas a tensão reduzida (6V, 12V e 24V). A alimentação a

tensão reduzida é feita por intermédio de transformadores magnéticos ou eletrônicos.

As características gerais das lâmpadas de halogéneo encontram-se representadas na tabela 4.4.

Tabela 4.4: Principais características das lâmpadas de halogéneo

Lâmpadas de halogéneo	
Duração Média de Vida (h)	2000 a 4000
IRC	100
Temperatura de Cor (K)	3000
Rendimento Luminoso (lm/W)	25
Tempo de Arranque	Instantâneo
Custo	Baixo
Tipo Casquilho	Edison ou Baioneta
Equipamentos Auxiliares	Transformador (6V, 12V e 24V)
Classe Energética	B e C

Em comparação com as lâmpadas de filamento, as lâmpadas de halogéneo apresentam uma maior eficiência energética, têm uma duração média de vida maior e a possuem uma temperatura de cor mais elevada, o que permite uma luz mais branca. Devido ao seu tamanho compacto, este tipo de lâmpada é muito utilizado em faróis de automóveis.

4.3.2.3 Lâmpadas de Indução



Figura 4.17: Lâmpadas de Indução

O princípio de funcionamento das lâmpadas de indução para gerar luz baseia-se na indução eletromagnética. A luz pode ser criada através de uma descarga no gás através de um campo magnético. O campo magnético da lâmpada é induzido através de uma bobina de indução que atua a alta frequência, isto é a ionização do gás não carece dos elétrodos. A descarga induzida pelas bobinas forma um ciclo fechado, provocando a aceleração dos eletrões, que colidem com os átomos de mercúrio provocando dessa forma a excitação dos eletrões. Quando os eletrões passam de um estado de energia mais elevado para um estado de energia mais baixo origina a libertação de energia, emitida sob a forma de radiação ultravioleta. A tabela 4.5 apresenta as principais características deste tipo de lâmpada.[5][29]

Tabela 4.5: Principais características das lâmpadas de indução

Lâmpadas de indução	
Duração Média de Vida (h)	60 000
IRC	80
Temperatura de Cor (K)	2700 a 4000
Rendimento Luminoso (lm/W)	60 a 80
Tempo de Arranque	Instantâneo
Equipamentos Auxiliares	Gerador de alta frequência

O facto deste tipo de lâmpada funcionar a alta frequência, permite obter uma luz confortável e sem oscilações. As lâmpadas de indução são usadas essencialmente em iluminação de túneis e iluminação de naves industriais.

4.3.2.4 Lâmpadas de Descarga

Esta família de lâmpadas é normalmente constituído por um tubo, no qual se ocorre a descarga entre os eléctrodos num meio gasoso. O fluxo luminoso é gerado através da passagem da corrente eléctrica num meio gasoso quando, dá-se a elevação da tensão entre os seus eléctrodos provocando a rotura dielétrica do meio, a qual origina a excitação dos eletrões.

Dependendo da gama pressão de pressão a que o gás é submetido, as lâmpadas de pressão dividem-se em dois grupos:

- Lâmpadas de descarga de alta pressão:
 - Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão;
 - Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
 - Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos;
 - Lâmpadas de luz mista.
- Lâmpadas de descarga de baixa pressão:
 - Lâmpadas fluorescentes (lineares ou tubulares);
 - Lâmpadas fluorescentes compactas;
 - Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão.

Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

Neste tipo de lâmpada a luz é gerada, quando se dá a excitação do mercúrio. A descarga eléctrica acontece num pequeno tubo de quartzo que se encontra instalado no interior da lâmpada de vidro borossilicato. Este vidro permite o isolamento térmico e proteção contra os raios ultravioletas emitidos pela reação da lâmpada. O vidro pode ou não ser revestido com um material fosforescente de forma a otimizar o IRC da lâmpada.



Figura 4.18: Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

Apesar deste tipo de lâmpada apresentar uma duração média de vida longa, a partir do ano 2015 a comercialização desta lâmpada será proibida na União Europeia. A sua retirada do mercado deve-se ao uso intensivo de mercúrio, que é considerado um metal altamente tóxico. Este tipo de lâmpada é muito utilizado na iluminação pública e industrial. A tabela 4.6 revela as principais características deste tipo de lâmpadas.[5][29]

Tabela 4.6: Principais características das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão

Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão	
Duração Média de Vida (h)	10 000 a 12 000
IRC	40 a 57
Temperatura de Cor (K)	3200 a 3900
Rendimento Luminoso (lm/W)	36 a 60
Tempo de Arranque	4 a 6 minutos
Tipo Casquilho	Edison
Equipamentos Auxiliares	Balastros e condensadores
Classe Energética	B

Lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão



Figura 4.19: Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

A lâmpada de vapor de sódio de alta pressão gera luz através da mistura do sódio e de uma pequena quantidade de mercúrio. O sódio e o alumínio estão inseridos dentro de um pequeno tubo de descarga que constitui a lâmpada. Ainda dentro desse mesmo tubo de descarga também encontra-se presente o gás xénon, que encontra-se a uma pressão relativamente baixa. A baixa pressão que

este gás se encontra facilita o arranque da lâmpada e limita a condução do arco de descarga para a parede do tubo. O tubo de descarga da lâmpada é fabricado em óxido de alumínio de forma a resistir a elevada temperatura de funcionamento do vapor sódio, 700°C.

Devido à sua elevada eficiência luminosa, esta lâmpada é muito utilizada em iluminação pública e industrial. Em comparação com as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, estas emitem uma luz de aparência amarelo-alaranjada proporcionando uma sensação mais agradável à nossa vista. Apesar do seu preço ser mais elevado que as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta, a sua utilização é requisitada em diversas aplicações devido ao seu elevado rendimento. As principais características deste tipo de lâmpada estão reveladas na tabela 4.7.[5][29]

Tabela 4.7: Características das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão	
Duração Média de Vida (h)	12 000
IRC	25 a 60
Temperatura de Cor (K)	1900 a 2500
Rendimento Luminoso (lm/W)	120
Tempo de Arranque	5 minutos
Tipo Casquilho	Edison
Equipamentos Auxiliares	Balastro, condensador e ignitor
Classe Energética	A

Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Iodetos



Figura 4.20: Lâmpada de Vapor de Mercúrio de Iodetos

A constituição deste tipo de lâmpadas é similar à das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão. A diferença encontra-se na mistura de substâncias inseridas no tubo de descarga. O mercúrio é misturado com emissores iónicos ou com emissores moleculares. Um exemplo de mistura de emissores iónicos é composta por iodetos de sódio, tálio e índio. E no caso de emissores moleculares é composta pela mistura de iodeto com cloreto de estanho.

As lâmpadas de mercúrio de iodetos foram desenvolvidas para melhorar o desempenho das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta e vapor de sódio de alta pressão, nos locais onde o IRC exigido é elevado. Devido ao seu elevado preço a sua utilização limita-se à iluminação de exteriores através de projetores. São apropriadas para iluminação de grandes espaços como, estádios

e campos de futebol, aeroportos, fábricas ou salas de reunião onde o IRC tem um papel vital. A tabela 4.8 indica as características deste tipo de lâmpadas.[5][29]

Tabela 4.8: Características das lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos

Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos	
Duração Média de Vida (h)	3 000 a 9 000
IRC	85 a 95
Temperatura de Cor (K)	3000 a 7000
Rendimento Luminoso (lm/W)	80
Tempo de Arranque	4 minutos
Tipo Casquilho	Edison
Equipamentos Auxiliares	balastro, ignitor e condensador
Classe Energética	A e A+

Lâmpada de Luz Mista



Figura 4.21: Lâmpada de Luz Mista

A lâmpada de luz mista resulta da combinação entre a lâmpada incandescente e a lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. O filamento de tungsténio encontra-se ligado em série com o tubo de descarga. A lâmpada utiliza o filamento incandescente para o arranque de funcionamento e o tubo de descarga das lâmpadas de mercúrio para a emissão do fluxo luminoso. O filamento de tungsténio funciona como resistência para limitação de corrente na lâmpada, substituindo assim o balastro. [5][29]

As principais características deste tipo de lâmpada encontram-se na tabela 4.9.

Tabela 4.9: Características das lâmpadas de luz mista

Lâmpadas de luz mista	
Duração Média de Vida (h)	2000
IRC	60
Temperatura de Cor (K)	3400 e 3700
Rendimento Luminoso (lm/W)	26
Tempo de Arranque	3 a 5 minutos
Tipo Casquilho	Edison
Equipamentos Auxiliares	Não
Classe Energética	B e C

Lâmpada Fluorescente (Lineares ou Tubulares)



Figura 4.22: Lâmpada Fluorescente tubular

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão. Este tipo de lâmpada é constituído por um tubo de descarga, com um eléctrodo em cada extremidade. A superfície interior do tubo de descarga encontra-se revestida com uma substância fluorescente, que transforma a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada em radiação visível. O tubo encontra-se preenchido com uma mistura de gás nobre e vapor mercúrio, sendo que o gás nobre permite obter um arranque fácil e controlar a descarga, enquanto que o vapor de mercúrio provoca a emissão da radiação ultravioleta, através da passagem da corrente eléctrica pelo vapor de mercúrio.

Alterando a composição da substância fluorescente é possível obter diferentes temperaturas de cor, adequadas a cada tipo de ambiente. Essa alteração irá influenciar o fluxo luminoso da lâmpada e o índice de restituição cromática.

As lâmpadas fluorescentes necessitam de balastros, como equipamentos auxiliares para o seu funcionamento. Os balastros são dispositivos que limitam a corrente eléctrica, que podem ser do tipo eletrónico ou tipo ferromagnéticos. Devido ao seu elevado tempo de vida e rendimento luminoso as lâmpadas fluorescentes são muito utilizadas na iluminação de edifícios públicos (como escolas), nas instalações comerciais e indústrias e até mesmo nas cozinhas dos edifícios domésticos.

As primeiras lâmpadas fluorescentes a serem desenvolvidas foram do tipo T12 e tinham um tubo de descarga com 38 mm diâmetro. Com o passar dos anos o seu diâmetro viria a ser diminuído para 26 mm e 16 mm, conhecidos por tubos T8 e T5, que atualmente correspondem às lâmpadas fluorescentes mais usadas. As lâmpadas T8 funcionam com balastros eletrónicos ou ferromagnéticos, enquanto que as lâmpadas T5 funcionam exclusivamente com balastros eletrónicos. Os balastros eletrónicos são bastantes mais eficientes que os ferromagnéticos, como é referido mais adiante. Na figura 4.23 é possível observar que com decréscimo do tamanho do diâmetro do tubo da lâmpada o rendimento da luminária foi maximizada.[5][9][8][29]

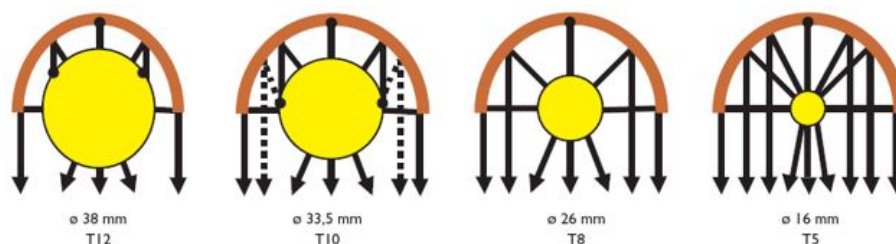


Figura 4.23: Classificação e diâmetro das lâmpadas fluorescentes[9]

As lâmpadas T5 representam cerca de 20% de economia em relação ao T8 e 40% em relação às lâmpadas T10/T12. De todas as lâmpadas fluorescentes lineares, as T5 possuem um melhor rendimento luminoso. As principais características das lâmpadas fluorescentes lineares encontram-se reveladas na tabela 4.10.[5]

Tabela 4.10: Principais características das lâmpadas fluorescentes lineares

Lâmpadas fluorescentes lineares	
Duração Média de Vida (h)	7 500 a 10 000
IRC	85 a 95
Temperatura de Cor (K)	2700 a 5000
Rendimento Luminoso (lm/W)	100
Tempo de Arranque	Instantâneo
Tipo Casquilho	G5 e G13
Equipamentos Auxiliares	Arrancador e Balastro
Classe Energética	B, A, A+, A++

Lâmpadas Fluorescentes Compactas



Figura 4.24: Exemplos de lâmpadas fluorescentes compactas

As lâmpadas fluorescentes compactas que são também conhecidas como lâmpadas de baixo consumo, tem o princípio de funcionamento similar a das lâmpadas fluorescentes lineares, apesar de serem constituídas por um ou mais tubos de descarga curvo de menor dimensão, dobrado sobre si mesmo, para dar a forma compacta à lâmpada.

As lâmpadas fluorescentes compactas dividem-se em dois tipos: as fluorescentes compactas integradas e as fluorescentes compactas não integradas. As fluorescentes compactas integradas tem o casquilho Edison do tipo E14 ou E27 e possuem o arrancador incorporado. Enquanto que as fluorescentes compactas não integradas possuem o casquilho com pinos e necessitam de balastro externo para o seu funcionamento.

As lâmpadas fluorescentes compactas integradas podem substituir as lâmpadas convencionais, pois duram oito vezes que as lâmpadas convencionais e produzem a mesma luz, garantindo dessa forma uma poupança de cerca de 80%.

As lâmpadas fluorescentes compactas não integradas possuem um peso mais reduzido e o custo de manutenção mais baixo uma vez que possuem o sistema de arranque separado, comparando com as fluorescentes integradas estas são as vantagens. Os modelos de 4 pinos deste tipo de

lâmpadas permitem a regulação do fluxo luminoso, proporcionando dessa forma a redução no consumo de energia. A tabela 4.11 ilustra as principais características desta lâmpada.[5][9][8][29]

Tabela 4.11: Principais características das lâmpadas fluorescentes compactas

Lâmpadas fluorescentes compactas	
Duração Média de Vida (h)	7 500 a 10 000
IRC	85 a 95
Temperatura de Cor (K)	2700 a 5400
Rendimento Luminoso (lm/W)	40 a 60
Tempo de Arranque	Instantâneo
Tipo Casquilho	Edison ou Tipo G
Equipamentos Auxiliares	Pode precisar ou não de balastro
Classe Energética	B, A, A+

Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão



Figura 4.25: Lâmpada de Vapor de Sódio de Baixa Pressão

As lâmpadas de vapor sódio de baixa pressão apresentam o maior rendimento luminoso de todas as lâmpadas e têm uma longa duração média de vida, o que a torna numa fonte de iluminação mais eficiente e económica.

A construção e o princípio de funcionamento das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão é semelhante à das lâmpadas fluorescentes, sendo que a grande diferença reside na utilização do vapor de sódio para a descarga em vez do vapor de mercúrio. Como o sódio se encontra no estado sólido o arranque das lâmpadas de vapor sódio de baixa pressão é mais difícil. Estas lâmpadas exigem uma elevada tensão de arranque e são necessários cerca de 10 minutos até atingirem o seu rendimento máximo.[29][5]

Tabela 4.12: Principais características das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão	
Duração Média de Vida (h)	12 000
IRC	0
Temperatura de Cor (K)	1800
Rendimento Luminoso (lm/W)	200
Tempo de Arranque	10 minutos
Tipo Casquilho	Baioneta
Equipamentos Auxiliares	Balastro, ignitor e condensador
Classe Energética	A+, A++

Face ao seu elevado rendimento e longa duração de vida este tipo de lâmpadas tem uma vasta utilização na iluminação pública, mas ultimamente têm vindo serem substituídas pelas lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, devido ao facto de possuírem o IRC nulo.

4.3.2.5 Lâmpadas LED



Figura 4.26: Exemplo de lâmpadas LED

O LED (*Light Emitting Diode*) é um diodo semicondutor que emite luz quando é atravessado pela corrente elétrica. A cor da luz emitida pelo LED é monocromática e depende da composição química do material semicondutor utilizado. A luz branca pode ser obtida de duas formas: combinando os LEDs azuis, vermelhos e verdes ou então combinando um chip azul ou ultravioleta e o fósforo. No segundo caso pode-se obter uma luz branca fria ou quente dependendo dos fósforos utilizados. A luz emitida será branco frio se for utilizado LED azul com fósforos amarelos. E será branco quente se for utilizado o fósforo vermelho e verde junto ao chip azul.

As lâmpadas LED trabalham com tensões contínuas muito baixas e a sua alimentação tem de ser em corrente contínua, necessitando de um interface (*driver* ou transformador) para o seu funcionamento, convertendo as características da rede nas necessárias para o seu funcionamento. A solução pode não precisar de equipamento adicional, por este já se encontrar inserido no invólucro da lâmpada ou da luminária. As principais características deste tipo de lâmpadas encontram-se reveladas na tabela 4.13.[8][5]

Tabela 4.13: Principais características da lâmpadas LED

Lâmpadas LED	
Duração Média de Vida (h)	15 000 a 50 000
IRC	80 a 85
Temperatura de Cor (K)	2700 a 6500
Rendimento Luminoso (lm/W)	46 a 110
Tempo de Arranque	Instantâneo
Tipo Casquilho	GU ou Edison ou G
Equipamentos Auxiliares	Driver ou transformador
Classe Energética	A, A+ e A++

A iluminação com esta fonte de luz tem tido um elevado crescimento nos últimos anos pelo mundo todo. Para além das lâmpadas LED apresentarem um consumo de energia muito baixo, esta fonte de iluminação apresenta uma duração vida superior às restantes fontes de luz tradicionais. As lâmpadas LED podem ser uma solução eficiente substituindo diretamente as lâmpadas incandescentes, halógeno, fluorescentes compactas e fluorescentes tubulares T8 em diversos tamanhos e suportes (casquilho).

4.4 Gestão de Iluminação

A eficiência energética pode ser maximizada através da gestão de iluminação, que permite eliminar o desperdício da energia elétrica e obter diminuição significativa dos custos de exploração da iluminação. A gestão pode ser feita recorrendo ao comando manual ou automático, sendo que o manual irá depender da sensibilidade dos utilizadores enquanto que o automático dispensa isso.

De seguida são apresentadas os seguintes modos da gestão de iluminação:

- Gestão horária;
- Detecção de presença e movimento;
- Gestão em função da luz natural;

4.4.1 Gestão Horária

Na gestão horária é utilizado os interruptores horários e os automáticos de escada. Os interruptores horários podem ser analógicos ou digitais. Apesar de o custo de os interruptores digitais ser mais elevado que os analógicos, estes são os únicos que permitem realizar funções com programação anual. Também permitem guardar o programa na memória, e coordenador de forma independente mais do que um circuito. Os comandos transmitidos aos circuitos de iluminação podem ser provenientes de sistemas de gestão centralizada.

Quando os interruptores são utilizados num circuito de iluminação é necessário ter em conta os seguintes aspetos[5]:

- É preferível comandar apenas a extinção da iluminação, e deixar aos utilizadores a liberdade de acendimento;
- É essencial incluir comandos locais para se poder restabelecer a iluminação caso for necessário;
- A extinção automática não deve colocar os utilizadores na obscuridade total. É crucial garantir uma iluminação mínima para lhes permitir encontrar o acesso ao botão de acendimento;
- Caso exista uma paragem significativa, os horários de extinção podem incluir o período de almoço.

Os interruptores automáticos de escada, normalmente são utilizados nas zonas de circulação (corredores, escadas, etc.) onde a presença contínua dos utilizadores é menos frequente, assegura a extinção automática da iluminação. A iluminação é ativada por botões de pressão simples ou luminoso, através de um impulso, desligando-se automaticamente após um tempo regulável, determinado pelo tempo máximo que os utilizadores demoram a percorrer a zona. Estes interruptores tem um contacto de marcha forçada (on/off), que permite a ativação permanente do automático de escada, por exemplo em caso de limpeza e manutenção prolongada do local.

As figuras 4.27, 4.28 e 4.29 ilustram um exemplo de interruptor horário analógico, interruptor horário digital e de um automático de escada.



Figura 4.27: Interruptor horário analógico



Figura 4.28: Interruptor horário digital



Figura 4.29: Automático de escada

4.4.2 Detecção de Presença e Movimento

Os detetores de presença e movimento, corretamente designados de detetores volumétricos, dividem-se em três categorias: detetores volumétricos de infravermelhos passivos (PIR), detetores volumétricos de ultrassons e detetores bi-volumétricos.



Figura 4.30: Exemplos de detetores de movimento

4.4.2.1 Detetores Volumétricos de Infravermelhos Passivos

Os detetores volumétricos de infravermelhos passivos detetam o movimento do corpo humano pela medida da radiação infravermelha (calor) emitida pelo corpo, são os mais utilizados. Só atuam perante movimento de corpos de volume significativo. são chamados de passivos porque

apenas detetam radiação, mas não emitem. Fornecem uma indicação da mudança do local por presença ou ausência.

O seu raio de ação está dividida numa série de segmentos. É a passagem de um corpo do raio de visão de uma faceta para outra que permite detetar o movimento. A sensibilidade do detetor varia em função do número de segmentos sensíveis, se o raio de ação do detetor é cortado por poucos segmentos pode não detetar uma pessoa que se dirige na sua direção. A figura 4.31 ilustra as faces do detetor infravermelhos passivos.

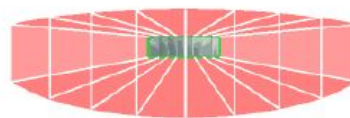


Figura 4.31: Faces do detetor infravermelhos passivos

Se o raio de ação do detetor é dividido por poucos segmentos pode não detetar a presença da pessoa que se dirige na sua direção. A sua sensibilidade é regulável, e a sua regulação é feita em função do local. Num escritório o detetor tem de ser ajustado para alta sensibilidade, já que o movimento das pessoas são por vezes mínimos. Enquanto que para um local de passagem basta uma baixa sensibilidade do detetor para detetar o movimento, tendo em conta que nestes locais existe uma grande de movimentação das pessoas. O tempo de temporização após o ultimo movimento pode ser regulado até cerca de 30 minutos.[5]

4.4.2.2 Detetores Volumétricos de Ultrassons

Os detetores volumétricos de ultrassons reagem à variação das ondas sonoras refletidas no interior de um local, causadas pelo movimento de um corpo. O volume do corpo não é importante na deteção, já que este detetor deteta corpos de pequena dimensão. Estes detetores transmitem um sinal gerado por um oscilador de quartzo, que emitem ondas ultrassónicas em frequências bastantes superiores ao limite da perceção humana (até 45 kHz). [5]

4.4.2.3 Detetores Bi-volumétricos

Estes detetores resultam da combinação das tecnologias dos detetores infravermelhos passivos e ultrassons, garantindo assim um elevada eficiência e segurança na sua utilização.[5]

4.4.3 Gestão em Função da Luz Natural

O conforto visual nas zonas próximas das janelas normalmente é garantido sem ter que recorrer a iluminação artificial. Pode-se aproveitar da luz natural adotando algumas soluções que permitem uma diminuição do consumo da energia.

4.4.3.1 Comando on/off em função da iluminação exterior

Nos espaços onde a iluminação natural é suficiente para iluminar o local em determinados períodos, a iluminação artificial apenas é utilizada no início e no fim dia e durante a noite, o fluxo luminoso pode ser controlado desligando progressivamente filas de armadura a partir das janelas, quer jogando com o número de lâmpadas ligadas em armaduras com mais do que uma lâmpada.

O comando on/off pode ser uma solução para este tipo de situação. O comando deve ser acompanhado de uma temporização de forma a evitar que uma variação brusca da luminosidade exterior (a passagem de uma nuvem, por exemplo) altere a iluminação artificial.

Um dos maiores benefícios desta solução é o seu moderado custo, devido ao número limitado de sensores, tratando-se da mesma forma todos os locais da mesma fachada do edifício. Por outro este sistema apresenta vários inconvenientes, dado que é um sistema de comando sem retroação, ou seja o equipamento regulador não sabe o que se passa no local. Trata-se de um sistema pouco ergonómico, já que pode causar bruscas variações da iluminação interior. A sua implementação torna-se difícil caso a fachada seja sombreada por edifícios vizinhos e a sua regulação não é fácil já que para além de depender da configuração do local (tipos e tamanhos das janelas) ainda deve ser regulado de forma diferente conforme o afastamento das armaduras em relação à fachada.[5]

4.4.3.2 Regulação contínua do fluxo luminoso em função da iluminação interior

Nos locais onde o nível de iluminação natural é fraco, a iluminação artificial desempenha um papel crucial. Optando por uma regulação fina, contínua do fluxo luminoso ("dimming") pode traduzir-se por grandes economias de energia neste caso.

O nível de iluminância interior, serve de grandeza representativa para a regulação neste caso. Neste tipo de sistema, a regulação do fluxo luminoso obriga a utilizar balastros eletrónicos com regulação de fluxo (do tipo A1). Alguns balastros eletrónicos permitem uma redução do fluxo luminoso de uma forma contínua até aos 0%. Dado que o consumo do balastro é independente da potência da lâmpada, o conjunto da potência composta por lâmpada e balastro é sempre superior a 5%.

De modo a tornar esta solução totalmente eficaz, uma simples regulação de fluxo deve ser completada com algumas funções complementares. Quando o utilizador deixa o local enquanto há luz natural, pode esquecer-se de desligar a iluminação. Para evitar esta situação é necessário que o acendimento esteja ligado ao detetor de presença ou a um interruptor horário, e que a extinção seja comandada pelo regulador, permanecendo o acendimento manual (on/off).[5]

4.5 Balastros Eletrónicos

Os balastros eletrónicos estão disponíveis no mercado desde o início da década de 80. Mas a sua utilização só teve um grande crescimento a partir do início da década de 90 devido as melhorias obtidas nas suas performances e o aumento do custo de energia elétrica.

Para além dos balastros eletrônicos também existem os balastros magnéticos. Os balastros magnéticos podem ser classificadas nas seguintes classes: D (Balastros magnéticos com perdas muito altas), C (Balastros magnéticos com perdas moderadas), B2 (Balastros magnéticos com perdas baixas) e B1 (Balastros magnéticos com perdas muito baixas). Com o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ e promover a redução do consumo de energia, a diretiva europeia 245/2009/CE determinou o fim da comercialização dos balastros do tipo D a partir de 20 de Maio de 2002 e a partir de Novembro de 2005 a venda dos balastros do tipo C passou a ser proibida também. A partir de 13 de Abril de 2017 está prevista a proibição de colocação no mercado de todos os tipos magnéticos.[30][31]

Os balastros eletrônicos garantem um melhor rendimento das lâmpadas convertendo a frequência standard de 50 Hz em alta frequência (25 kHz a 40 kHz). O funcionamento das lâmpadas a estas elevadas frequências produz a mesma quantidade de luz, garantindo uma redução de consumo de energia de 12% a 25%. Os balastros eletrônicos podem ser classificados nas seguintes classes: A1(balastros eletrônicos com regulação), A2 (balastros eletrônicos com baixas perdas) e A3 (balastros eletrônicos standard). [5]

A figura 4.32 ilustra um exemplo de um balastro eletrônico.



Figura 4.32: Balastro eletrônico

A utilização dos balastros eletrônicos trás um conjunto de benefícios, das quais destacam-se as seguintes[5]:

- Aumento do rendimento luminoso: as lâmpadas podem produzir cerca de mais de 10% de luz para a mesma potência, reduzindo desta forma a potência absorvida;
- Aumento da duração de vida da lâmpada: o balastro faz o pré-aquecimento dos elétrodos antes de aplicar um impulso controlado da tensão, diminuindo o desgaste do material emissor de eletrões dos elétrodos;
- Eliminação do ruído audível: como os balastros eletrônicos funcionam acima da gama audível de frequências, o problema do ruído é eliminado;
- Eliminação do flicker: a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero numa lâmpada que funciona a 50 Hz. Isto produz o flicker que causa o cansaço visual. Com o funcionamento da lâmpada a alta a frequência o efeito de flicker é eliminado;

- Diminuição de peso e de tamanho: dado a elevada frequência de funcionamento, num balastro eletrónico os componentes são leves e compactos (núcleos de ferrite), em vez dos enrolamentos e núcleo de aço laminado dos balastros magnéticos;
- Possibilidade de regulação do fluxo luminoso: Existem balastros eletrónicos que permitem a regulação do fluxo luminoso, permitindo assim uma poupança considerável de energia nas circunstâncias em que a iluminação está ligada a um sistema de controlo automático.

Capítulo 5

Caso de Estudo

O presente capítulo caracteriza as escolas e aborda os estudos realizados sobre o sistema de iluminação dos vários locais que constituem as mesmas. Os equipamentos de climatização também serão analisados, assim como os seus respetivos períodos de funcionamento.



Figura 5.1: Escola secundária Rodrigues de Freitas e Conservatório de Música do Porto

Localizado no centro da cidade do Porto, o edifício a que pertence a escola secundária Rodrigues de Freitas e o Conservatório de Música do Porto foi uma das escolas que teve intervenção por parte da empresa Parque Escolar (PE). A requalificação da escola, promovida pela PE, caracterizou-se pela remodelação das instalações existentes ao nível do seu reordenamento interior, beneficiação dos revestimentos interiores e exteriores, e manutenção das condições estruturais, remodelação integral das infraestruturas elétricas, telecomunicações, águas e esgotos. A escola dispõe de uma área bruta total (coberta + edificada) de 24.355 m^2 e encontra-se dividida por blocos.

5.1 Identificação e caracterização das áreas dos edifícios

Os edifícios que compõem a escola encontram-se divididos em blocos. Onde os blocos nascente e central representam a escola Rodrigues de Freitas (ERF) e os blocos poente e sul representam o conservatório da música (CM). Estes blocos encontram-se fracionadas em vários pisos.

Como as escolas ERF e CM são constituídas por vários espaços, em a que a maioria dos espaços possui a sua característica própria, optou-se por fazer a caracterização das escolas por intermédio de tabelas, de forma a perceber-se melhor a área, o nome e o piso onde cada um desses espaços encontra-se alocado. De seguida é feita a caracterização dos vários pisos onde foram realizados os estudos do sistema de iluminação.

5.1.1 Escola Rodrigues de Freitas

O ERF é constituído por 5 pisos. Neste estudo são, contudo, abordados três pisos, ficando assim de fora os pisos zero e três. As instalações que fazem parte do piso 3 encontram-se fora de funcionamento, entre elas inclui uma biblioteca antiga que já não é mais utilizada. O piso zero não é abordado por faltas de informação que permitem realizar o estudo da iluminação.

5.1.1.1 Piso 2

A tabela 5.1 representa os locais que incorporam este piso, assim como as suas respetivas áreas.

Tabela 5.1: Descrição do piso 2

Nº Local	Local	Área (m^2)
2.1	Biblioteca	229,84
2.2	Distribuição	4,16
2.3	Arquivo	22,47
2.4	Arquivo	36,33
2.5	Corredor gabinete	37,97
2.6.A	Gabinete	22,13
2.6.B	Gabinete	14,25
2.6.C	Gabinete	13,34
2.6.D	Gabinete	13,21
2.6.E	Gabinete	13,21
2.6.F	Gabinete	18,39
2.6.G	Gabinete	20,07
2.6.H	Gabinete	8,79
2.6.I	Gabinete	16,99
2.7	Distribuição sanitários	2,63
2.8	Sanitário masculino	8,80
2.9	Sanitário feminino	10,62
	Escada 1	30,03
	Escada 5	30,03
	Escada 6	8,96

Analisando a tabela 5.1, percebe-se que este piso é composto maioritariamente por gabinetes e salas de reuniões.

5.1.1.2 Piso 1

Este piso é constituído maioritariamente por salas de aulas normais. Na tabela 5.2 pode-se verificar as outras secções que fazem parte deste piso, que também serão analisados.

Tabela 5.2: Descrição do piso 1

Nº Local	Local	Área (m²)
1.1.A	Corredor museu	59,02
1.1.B	Corredor Centro de formação	93,83
1.1.C	Corredor sanitários	78,87
1.1.D	Corredor salas de aula	228,07
1.2	Museu	165,75
1.3	Gabinete de Psicologia	14,79
1.4	Apoio a alunos	21,68
1.5.A	Sala de trabalho	14,97
1.5.B	Sala de trabalho	22,18
1.6	Sala de apoio ao museu	24,14
1.7	Centro de formação	48,80
1.8	Distribuição Sanitários	8,49
1.9	Sanitário deficientes	4,44
1.10	Sanitário feminino	8,99
1.11	Sanitário masculino	11,28
1.12.A	Sala de aulas	63,56
1.12.B	Sala de aulas	41,11
1.12.C	Sala de aulas	44,49
1.12.D	Sala de aulas	50,22
1.12.E	Sala de aulas	50,22
1.12.F	Sala de aulas	50,22
1.12.G	Sala de aulas	50,22
1.12.H	Sala de aulas	50,22
1.12.I	Sala de aulas	50,22
1.12.J	Sala de aulas	51,34
1.13	Sala de desenho	134,19
	Escada 1	30,03
	Escada 2	30,03
	Escada 5	30,03

5.1.1.3 Piso -1

Composta por várias secções , onde as salas de aulas e áreas de aprendizagem informal ocupam uma área maior, a tabela 5.3 ilustra todas as secções que fazem parte desde piso.

Nº Local	Local	Área (m ²)
-1.1.A	Corredor sanitários	48,84
-1.1.B	Corredor sala de aulas	211,64
-1.1.C	Corredor refeitório	31,07
-1.1.D	Corredor salas de EVT	58,16 66,96
-1.1.E	Corredor passagem pátio	72,60
-1.1.F	Corredor áreas de aprendizagem informal	124,83
-1.1.G	Corredor áreas técnicas	54,01
-1.1.H	Corredor salas SFE	68,63
-1.2	Sala de funcionários	35,06
-1.3	Vestiário feminino	5,98
-1.4	Balneário/sanitário feminino	7,03
-1.5	Vestiário masculino	6,28
-1.6	Balneário/sanitário masculino	6,32
-1.7	Sanitário feminino	16,25
-1.8	Sanitário masculino	14,54
-1.9	Sala de EVT/serigrafia	36,99
-1.10	Arrecadação	10,95
-1.11.A	Sala de aulas	48,55
-1.11.B	Sala de aulas	50,10
-1.11.C	Sala de aulas	50,34
-1.11.D	Sala de aulas	50,22
-1.11.E	Sala de aulas	50,22
-1.11.F	Sala de aulas	50,22
-1.11.G	Sala de aulas	50,10
-1.12	Arrecadação	3,73
-1.13	Sala de EVT	104,47
-1.14	Apoio a EVT	18,47
-1.15.A	Sala de EVT	53,58
-1.15.B	Sala de EVT	87,22
-1.16.A	Arquivo	34,55
-1.16.B	Arquivo	34,75
-1.17	Apoio a EVT	15,68
-1.18	Associação dos estudantes	34,16
-1.19.A	Áreas de aprendizagem informal	105,21

-1.19.B	Áreas de aprendizagem informal	58,21
-1.19.C	Áreas de aprendizagem informal	92,99
-1.19.D	Áreas de aprendizagem informal	85,59
-1.20	Dispensa do bar	7,91
-1.21	Arrecadação da loja	22,38
-1.22	Loja	56,23
-1.23	Distribuição sanitários	10,18
-1.24	Sanitário deficientes	4,57
-1.25	Sanitário masculino	13,99
-1.26	Sanitário feminino	12,64
-1.27	Grupo eletrobomba	14,50
-1.28	Central elétrica	33,70
-1.29.A	Arquivo	57,36
-1.29.B	Arquivo	32,83
-1.29.C	Arquivo	57,36
-1.29.D	Arquivo	32,83
-1.30	Arrecadação	13,26
	Escada 1	30,21
	Escada 2	30,21
	Escada 3	30,21
	Escada 4	30,21

Tabela 5.3: Descrição do piso -1

5.1.2 Conservatório da Música

Devido ao facto de o conservatório da música (CM) e a escola Rodrigues de Freitas (ERF) apresentarem alguns espaços similares, os valores de referência para os níveis médios de iluminação definem que a análise realizada para a ERF pode ser aplicada ao CM. Na presente secção apenas são apresentadas as características dos espaços que diferem do CM para ERF. Tendo em conta os pressupostos anteriormente citados, são apresentados os resultados individuais para cada tipo de espaço, que difere da ERF. É de realçar que existem espaços com mais de que uma representação e nestes casos optou-se por realizar apenas um estudo.

Os espaços do CM que serão analisado encontram-se representados na tabela 5.4.

Tabela 5.4: Espaços do CM

Nº Local	Local	Área (m ²)
-1.25	Ginásio	129,03
-1.27	Sala Polivalente	257,27
-1.29	Refeitório	125,99
-1.30	Cozinha	55,6852
-2.14B	Sala de primeiros socorros	6,96
-2.26	Sala de percussão	124,34

5.2 Sistemas de Iluminação

Para a realização do estudo do sistema de iluminação da ERF e do CM, foi necessário fazer uma profunda análise das plantas da ERF e CM em ficheiro *Autocad*. Foi realizado um levantamento das áreas de cada espaço que são analisados, assim como as armaduras e lâmpadas que fazem parte destes espaços. Através do *Dialux*, que é um *software* de cálculo luminotécnico, foi realizado o cálculo da iluminância média para cada espaço. Os valores dos níveis de iluminância média obtidos foram comparados com os valores de referência definidos para cada espaço. De forma a tornar os sistemas de iluminação da ERF e CM mais eficientes energeticamente e a proporcionar aos utilizadores uma melhor qualidade de iluminação, em função dos resultados obtidos no *Dialux*, o estudo foi realizado considerando como fator mais importante a relação custo/benefício do investimento. Os balastros instalados, quer na ERF ou na CM, são todos do tipo eletrónico.

5.2.1 Estudo do Nível Médio de Iluminação da ECR e Análise dos Resultados Obtidos

Dado que a Norma Europeia EN 12646-1:2002 ("*Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places*") foi aceite por Portugal como uma norma nacional, a Parque Escolar (PE) adota este documento como referência para o nível de iluminação interior para os vários espaços funcionais.[26]

O quadro representado no anexo A.1, faz o paralelo entre a designação dos espaços funcionais mencionados no documento da Parque Escolar e a designação dos mesmos espaços de acordo com a norma (tabela 5.6, secção 6.2). Para alguns dos espaços funcionais, por não haver correspondência direta com a norma, foram identificados utilizando outras tabelas da norma.[26]

Existem ainda outros espaços funcionais para os quais não existe correspondência com a norma, sendo para estes justificado o valor do nível de iluminação adotado. Os valores de desconforto visual (*UGR – Unified Glare Rating*) mencionados no quadro são valores máximos.[26]

Os valores obtidos para a iluminância média após o estudo realizado no *dialux*, serão comparados com os valores de referência da tabela representada no anexo A.1. O primeiro passo para determinar a iluminância média é identificar a área a ser analisada, assim como a marca, o modelo das armaduras e a potência das lâmpadas instaladas. Depois de inserir esses dados procede-se o cálculo do valor da iluminância média no *dialux*, para os diferentes espaços que foram analisados ao longo deste estudo. Os valores de iluminância média determinados foram comparados com os valores de referência.

Para os casos em que o valores da iluminância média registados são inferiores aos definidos pela norma, realizou-se novos estudos até serem encontradas soluções mais eficientes, com os valores ideais para combater este défice.

Para os espaços em que os valores da iluminância média registados são elevados em comparação com os valores de referência, foram realizadas vários estudos com o objetivo de reduzir o consumo sem prejudicar o conforto e o bem-estar dos utilizadores. Para os casos em que foi possível baixar o consumo sem que o nível de iluminação média definido para o um determinado espaço fosse “desrespeitado” foi realizado um estudo económico que permitisse verificar se a solução sugerida é viável ou não.

Para a realização do estudo económico é necessário saber a potência das lâmpadas instaladas atualmente e a potência das lâmpadas sugeridas para a sua substituição. Para cada caso serão mencionados o número de horas e o número de dias por ano que as lâmpadas estarão ligadas. A potência total (*P.total*) consumida pelas lâmpadas num determinado espaço é dada pela seguinte expressão:

$$P.total(W) = NumeroLampadas \times PotenciaLampadada \quad (5.1)$$

A *PotenciaLampada* é a soma do consumo da lâmpada mais o balastro.

Sabendo a potência das lâmpadas para um determinado espaço, o número de horas que encontram-se acesas por dias e o número de dias que se encontram acesas por ano, é possível determinar o consumo anual para cada situação através da seguinte expressão:

$$ConsumoAnual(kWh) = P.total \times NumeroHorasDia \times NumeroDiasAno \quad (5.2)$$

Para calcular o custo anual para cada situação, foi considerado que o preço kWh para a instalação é de 0,1047 euros. A expressão utilizada foi a seguinte:

$$CustoAnual(euros) = 0,1047 \times ConsumoAnual \quad (5.3)$$

O investimento foi calculado multiplicando o preço unitário de cada lâmpada pelo número de lâmpadas necessárias para iluminar o espaço.

$$Investimento(euros) = NumeroLampadas \times PrecoCadaLampada \quad (5.4)$$

Para calcular a poupança alcançada durante um ano, o custo anual atual é subtraído pelo custo anual da solução sugerida.

$$PoupancaAnual(euros) = CustoAnualAtual - CustoAnualSolucao \quad (5.5)$$

O período de liquidação do investimento, designado por tempo de retorno é calculado depois de saber o valor da poupança anual que uma determinada solução nos oferece.

$$Retorno(Anos) = \frac{Investimento}{PoupancaAnual} \quad (5.6)$$

As características do tipo de armaduras instaladas na ERF e CM encontram-se representadas no anexo [A.2](#).

O número de horas que as lâmpadas estão ligadas durante os dias úteis da semana (segunda a sexta) para cada tipo de espaço, pode ser consultada no anexo [A.3](#).

5.2.1.1 Piso 2 da ERF

Antes do estudo dos níveis de iluminação ser realizado, fez-se um levantamento das lâmpadas instaladas nos diferentes espaços deste piso. As lâmpadas instaladas neste piso são do tipo fluorescente tubulares e fluorescentes compactas não integradas. No lote dessas lâmpadas nota-se uma maior presença das lâmpadas fluorescente tubulares T5 de 49 W, cerca 62 como se pode observar na figura 5.2. Existem ainda 16 lâmpadas compactas não integradas de 4 pino de 26 W, 8 compactas de 42 W também de 4 pinos, 4 fluorescentes lineares T8 de 58 W e 3 fluorescentes T5 de 35 W.

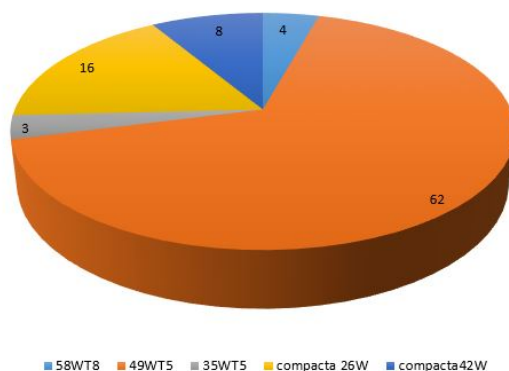


Figura 5.2: Lâmpadas instaladas no piso 2 da ERF

Biblioteca 2.1

Esta biblioteca encontra-se iluminada por intermédio de 35 armaduras do tipo E7, cada uma delas com uma lâmpada fluorescente T5 de 49 W. A iluminância média registada após a realização do estudo no *software Dialux* foi de 555 lux (a iluminância máxima registada foi de 672 lux e a mínima foi de 218 lux). Como valor de referência para o nível de iluminação para zona de leitura de uma biblioteca são 500 lux e para zona de estantes são 200 lux, depreende-se que o resultado obtido satisfaz as condições exigidas para este tipo de espaço, pelo que não será efetuada nenhuma alteração neste espaço. A figura 5.3 permite-nos observar como é que a iluminação se distribui pela biblioteca.

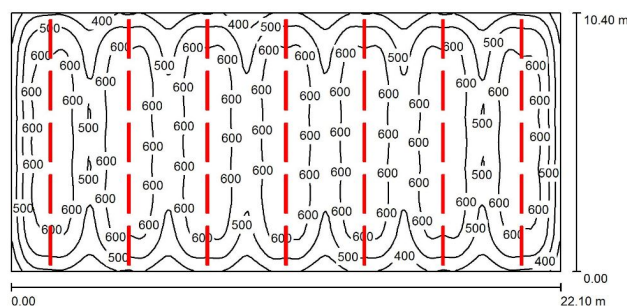


Figura 5.3: Distribuição da iluminação na biblioteca

Distribuição 2.2

Este espaço encontra-se iluminado por intermédio de uma luminária, integrado por uma lâmpada fluorescente linear T8 de 58 W. Após a realização do estudo no *software Dialux*, foi obtido uma iluminância média de 275 lux. O objetivo deste estudo passa por reduzir o consumo da iluminação, caso seja possível, sem ter que alterar as armaduras, ou seja, substituir as lâmpadas diretamente respeitando sempre o valor de iluminância média definido pela norma. Como o valor de referência de iluminância média para este tipo de espaço é de apenas 100 lux, foi realizado um novo estudo onde a lâmpada atual foi substituída pela lâmpada *GreenTubes* de 32 W que é uma lâmpada fluorescente economizadora com o mesmo tamanho que T8 de 58 W, 150 cm. A iluminância média obtida foi de 140 lux.

A figura 5.4 obtida através do estudo realizado no *software Dialux*, permite-nos observar a distribuição da iluminação neste espaço, a figura a) representa a situação atual, enquanto que a b) ilustra a solução proposta.

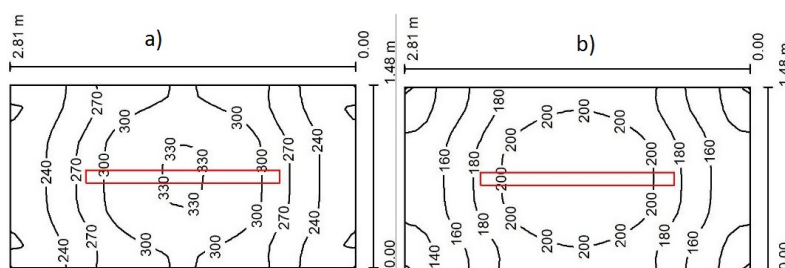


Figura 5.4: Iluminância média da distribuição 2.2

Os resultados obtidos para o estudo económico encontram-se ilustrados nas tabelas 5.5 e 5.6. Foi considerado que esta lâmpada encontra-se ligada durante 6 horas por dia. A troca da lâmpada atual para *GreenTubes* de 32 W, garante uma redução de 36,36% em relação a potência da lâmpada.

Tabela 5.5: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (w)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T8 58W	55	-	87,45
Solução Proposta	greentubes (32W)	35	20	55,65

Tabela 5.6: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	9,16€	-	-
Solução Proposta	36,29€	36,29€	5,83€	3,33€	10,90 anos

Arquivo 2.3

A sala é composta por duas luminárias, sendo as luminárias constituídas por lâmpadas T8 de 58 W, e a iluminância média atual é de 219 lux. Como a iluminância média para o arquivo é de 200 lux foi realizada um novo estudo utilizando lâmpadas LEDs tubulares e *GreenTubes*, mas os valores obtidos para o nível de iluminação foram inferiores a 200 lux, para ambos os casos. Como a lâmpada instalada atualmente garante o valor de iluminância média requerida, não será efetuada nenhuma alteração.

A figura 5.5 representa distribuição do fluxo luminoso da lâmpada instalada atualmente.

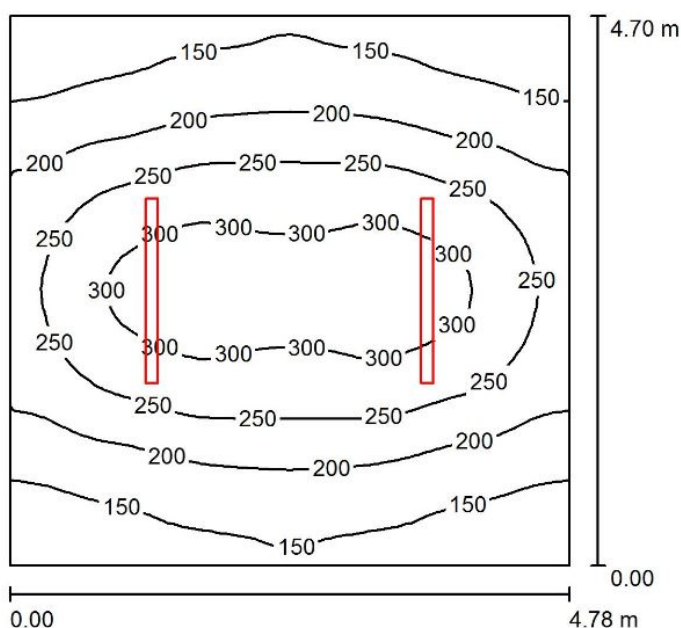


Figura 5.5: Iluminância média do arquivo 2.3

Arquivo 2.4

Em relação ao arquivo 2.4, a sala é composta por quatro armaduras do tipo E1, contendo cada uma duas lâmpadas de 49 W. Através da simulação realizada em ambiente Dialux regista-se uma iluminância média de 614 lux. Este valor de iluminância média é muito superior ao estipulado para o arquivo, 200 lux. Após nova simulação, onde a potência das lâmpadas é reduzida de 49 W para 35 W, mantendo-se o mesmo número de lâmpadas regista-se uma iluminância média de 472 lux. Após nova simulação, desta vez com apenas uma lâmpada de 35 W ligada em cada armadura, o valor da iluminância média baixa para 251 lux. Com esta nova solução a potência das lâmpadas foi reduzida para 35 W e o número de lâmpadas foi reduzido de 8 para 4. A figura representa a distribuição da iluminação no arquivo 2.4, a figura representada a esquerda representa a solução atual e a da direita representa a solução sugerida.

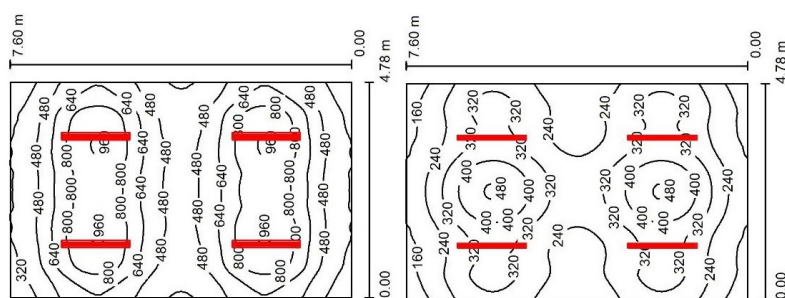


Figura 5.6: Distribuição na iluminação no arquivo 2.4

Durante o cálculo foi considerado que as lâmpadas desta sala funcionam 3 horas por dia, durante os dias úteis. Os resultados obtidos estão apresentados nas tabelas 5.7 e 5.8. Como se pode observar, obter-se-á uma redução no consumo de cerca de 63,2 %, e também é possível poupar cerca 22,31 € por ano, com um investimento de 32,04 €. O investimento terá o seu retorno num período de 1,44 anos, o que é excelente.

Tabela 5.7: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	424	-	337,08
Solução Proposta	T5 35W	156	268	124,02

Tabela 5.8: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	35,29€	-	-
Solução Proposta	8,01€	32,04€	12,98€	22,31€	1,44 anos

Corredor gabinete 2.5

Este espaço encontra-se equipado com 7 armaduras, cada uma com duas lâmpadas fluorescentes compactas não integradas de 26 W, com o casquilho do tipo G24Q. A Norma define que a iluminação média para os corredores é 100 lux. Após a realização do estudo no Dialux verificou-se que a iluminação média neste momento é de 172 lux. Foi possível baixar o consumo alterando, a potência das 14 lâmpadas para as compactas master PL-C e 18 W da Philips, que tem o mesmo casquilho. O nível médio de iluminação obtido foi de 108 lux. A distribuição da iluminação do presente espaço encontra-se representada na figura 5.7, em que a imagem representada em cima ilustra a solução atual e a de baixo a sugerida.

Os benefícios que serão obtidos com esta nova solução podem ser consultados nas tabelas 5.9 e 5.10. Com um investimento de 90.86 € é possível poupar 21,75 € por ano e o tempo de retorno é de 4,18 anos. Durante o cálculo foi considerado que as lâmpadas deste local funcionam 7 horas por dia, durante os dias úteis.

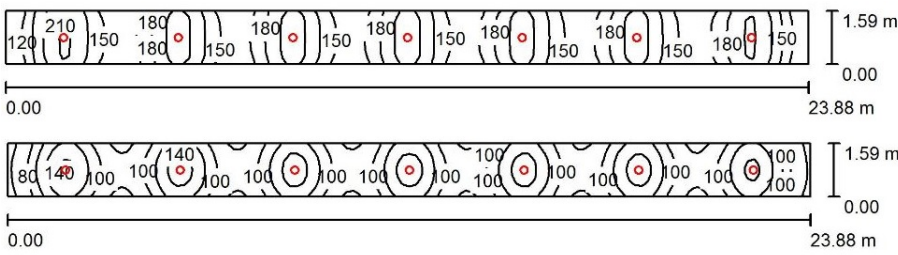


Figura 5.7: Distribuição na iluminação no corredor gabinete 2.5

Tabela 5.9: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	2xPL-C 4 Pin(26W)	378	-	701,19
Solução Proposta	2xPL-C 4 Pin(18W)	266	112	493,43

Tabela 5.10: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	73,41€	-	-
Solução Proposta	6,49€	90,86€	51,66€	21,75€	4,18 anos

Gabinete 2.6.A

Este gabinete encontra-se equipado com três armaduras do tipo E7, em que cada uma é composta por uma lâmpada T5 49W. O valor de referência para a iluminância mínima para este tipo de espaço é de 500 lux. Após a realização do estudo no Dialux foi possível perceber que o valor médio do nível de iluminação neste momento é de 438 lux. Para resolver o défice da iluminância média e alcançar o valor de referência, a potência da luminária que se encontra no meio foi aumentada para 80 W, aumentando dessa forma o nível média de iluminação para 502 lux. A imagem ilustrada a esquerda da figura 5.8 representa a distribuição da iluminação para a solução atual enquanto que a da esquerda representa a solução sugerida, sendo que a assinalada representa a lâmpada que foi alterada.

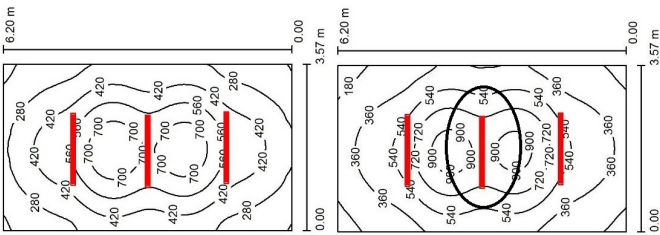


Figura 5.8: Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.A

Gabinetes 2.6.B; 2.6.C; 2.6.D e 2.6.E

Como a área destes quatro gabinetes variam ligeiramente uma das outras, a análise dos níveis médios de iluminação será a mesma para ambas, dado que as luminárias instaladas tem as mesmas características e as suas distribuições também é a mesma. Perante estes factos apenas será realizado o estudo para o gabinete 2.6B e o resultado obtido aplica-se às restantes. O gabinete 2.6B é composto por duas armaduras do tipo E7, cada uma com uma lâmpada fluorescente T5 de 49 W. O resultado da iluminância média obtido após o estudo realizado foi de 413 lux. Caso a potência de uma das lâmpadas for aumentada para 80 W, o valor do nível médio de iluminação estaria em conformidade com o valor de referência. Com essa alteração registou-se uma iluminância média de 502 lux. A figura 5.9 representa a distribuição da iluminação nestes espaços, onde a figura a) representa a situação atual e a figura b) representa a situação sugerida.

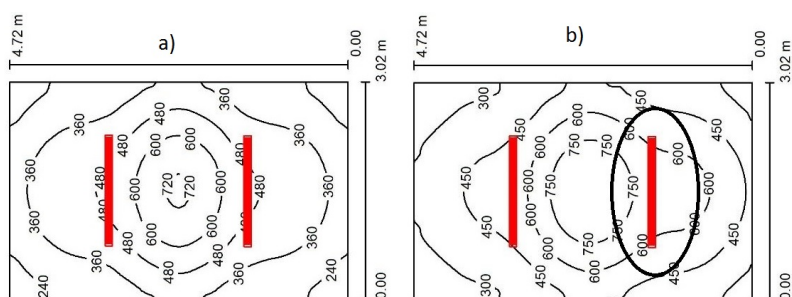


Figura 5.9: Distribuição da iluminação nos gabinetes 2.6.B; 2.6.C; 2.6.D e 2.6.E

Gabinetes 2.6.F

Este espaço é constituído por duas armaduras do tipo E7, onde cada armadura encontra-se equipada com o uma lâmpada T5 de 49W. Após a realização do estudo no Dialux foi possível notar que a iluminância média deste encontra-se abaixo do valor definido. O valor registado foi de 352 lux e o de referência são 500 lux. Face a esta situação, após a realização de novos estudos, foi possível que este valor fosse corrigido caso a potência de ambas as lâmpadas forem alteradas para 80W. A figura 5.10 ilustra como o fluxo luminoso se distribui neste espaço, a figura a) representa a solução atual e a b) a solução proposta.

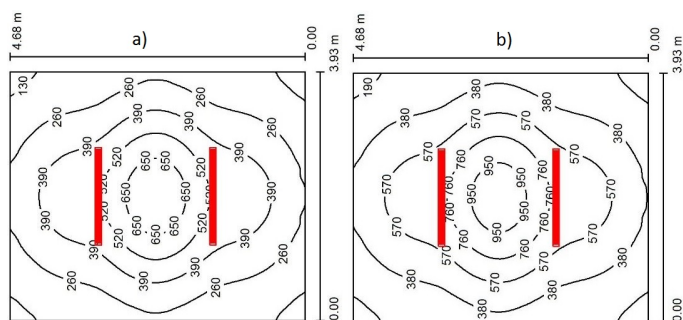


Figura 5.10: Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.F

Gabinetes 2.6.G

Constituído por 3 armaduras, cada uma delas com uma lâmpada T5 de 49 W, a iluminância média obtida para este gabinete foi de 456 lux. foi possível corrigir esse valor alterando apenas a potência da lâmpada que se encontra no meio da sala para 80 W. Com esta alteração o valor da iluminância média aumentaria para 456 lux. A distribuição do fluxo luminoso deste espaço encontra-se ilustrada na figura 5.11, a) representa a atual situação e b) a solução proposta.

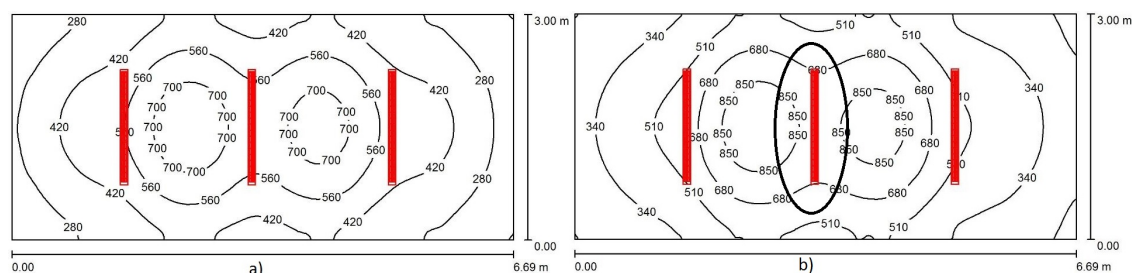


Figura 5.11: Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.G

Gabinetes 2.6.H

Este espaço é composto por uma luminária, com uma lâmpada de 49 W e iluminância média obtido foi de 317 lux. Fez-se um novo estudo onde a potência da lâmpada foi aumentada para 80 W, mas mesmo assim a iluminância média não atingiu o valor recomendado. Perante esta situação adicionou-se uma nova luminária com uma lâmpada de 35W e diminuiu-se a potência da outra lâmpada para 35 W, após realizar uma nova simulação no Dialux o nível médio de iluminação obtido foi de 493 lux. Este valor obtido fica abaixo do valor recomendado pela norma. A melhor solução para corrigir esse déficit foi aumentar a potência de uma das lâmpadas para 49W, ficando assim a iluminação do gabinete composta por uma lâmpada de 35 W e outros 49 W. O valor da iluminância média aumentou 562 lux, garantido assim a iluminância média recomenda e um maior conforto aos utilizadores deste espaço. A distribuição do fluxo luminoso para a solução atual e sugerida encontram-se representadas na figura 5.12. A figura a) representa a solução atual e b) a sugerida, a luminária que foi sugerida encontra-se assinalada na figura b).

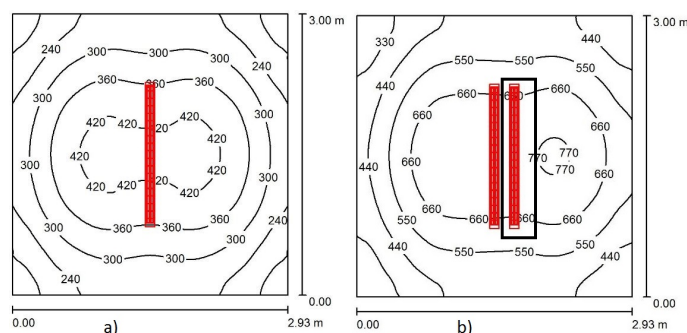


Figura 5.12: Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.H

Gabinetes 2.6.I

A iluminação atual deste gabinete é feita por intermédio de duas luminárias em que cada uma delas é composta por uma lâmpada de 49 W respetivamente. Após a simulação no *Dialux*, a potência dessas duas lâmpadas revelou-se insuficientes para garantir os níveis médios da iluminação, o valor obtido foi de 363 lux. O problema pode ser resolvido aumentando a potência das duas lâmpadas para 80 W. Com esta alteração a iluminância média registada foi 515 lux. A distribuição da iluminação encontra-se ilustrada na figura 5.13, a figura a) representa a situação atual e b) a sugerida.

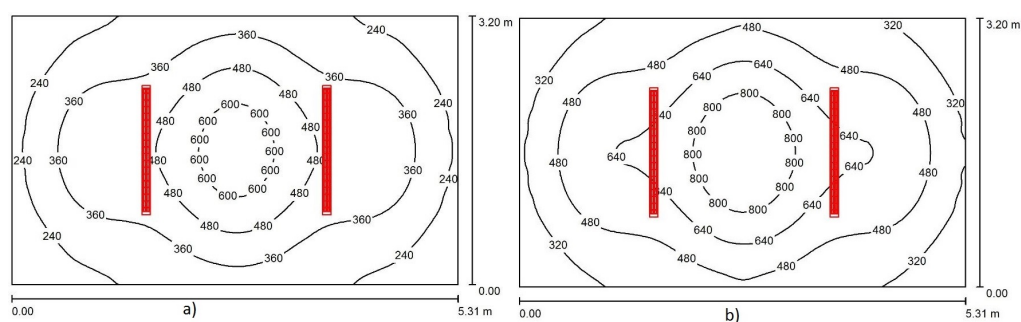


Figura 5.13: Distribuição da iluminação no gabinete 2.6.I

Distribuição sanitários 2.7

A iluminação deste espaço é feita por intermédio armadura, com duas lâmpadas fluorescentes compactas não integradas de 4 pinos, de 26 W. A iluminância média registada após o estudo foi de 202 lux, que é o dobro do valor estabelecido pela norma. A substituição das lâmpadas por uma de 18 W, permitiria reduzir o consumo sem colocar o conforto dos utilizadores em causa. O valor da iluminância média para este último estudo foi de 129 lux. A figura 5.14 ilustra a distribuição da iluminação para os dois caso, a) solução atual e b) solução sugerida.

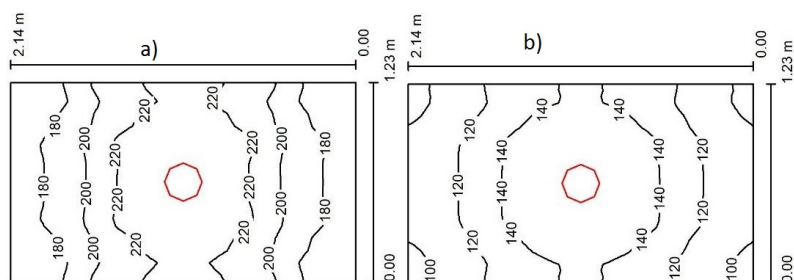


Figura 5.14: Distribuição da iluminação no espaço distribuição sanitários 2.7

Analisando as tabelas 5.11 e 5.12 é possível observar os benéficos que esta alteração proporciona. Durante o cálculo foi considerado que as lâmpadas encontram-se acesas 6 horas por dia.

Tabela 5.11: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	2xPL-C 4 Pin(26W)	54	-	100,17
Solução Proposta	2xPL-C 4 Pin(18W)	38	16	70,49

Tabela 5.12: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	10,49€	-	-
Solução Proposta	6,49€	12,98€	7,38€	3,11€	4,18 anos

Sanitário masculino 2.8

A iluminação deste espaço é feita por intermédio de uma armadura do tipo E3, com uma lâmpada T5 de 35 W. O nível de iluminação médio neste momento é de 150 lux, que é inferior ao valor de referência para este tipo de espaço, 200 lux. De seguida fez-se um novo estudo em que a potência da lâmpada foi aumentada para 49 W e o resultado obtido foi de 201 lux. A solução atual a) e a solução proposta b), estão representadas na figura 5.15.

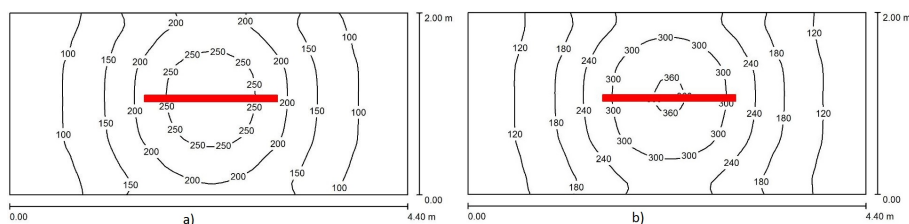


Figura 5.15: Distribuição da iluminação no Sanitário masculino 2.8

Sanitário feminino 2.9

O presente espaço é iluminado por meio de duas luminárias, cada uma com uma lâmpada fluorescente T5 de 35 W. Após o estudo realizado no Dialux foi possível constatar que o nível médio de iluminação de 261 lux que encontra-se presente neste espaço, respeita o valor estabelecido pela norma, 200 lux. Depois deste estudo conclui-se a que não é necessário alterar a iluminação deste setor. A figura 5.16 permite-nos observar como é que o fluxo luminoso se distribui neste espaço.

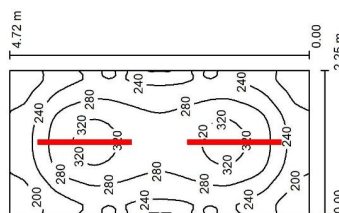


Figura 5.16: Distribuição da iluminação no Sanitário feminino 2.9

Escada 1 e Escada 5

A iluminância média definida para as escadas é 150 lux. Como as áreas destas duas escadas variam ligeiramente uma das outras, as posições das luminárias é a mesma, o modelo e as lâmpadas também são as mesmas, o estudo realizado para a escada 1 aplica-se à escada 2. A escada 1 está equipada com 4 armaduras, cada uma delas com uma lâmpada compacta não integrada de 42 W. O valor obtido para iluminância média após a realização do estudo foi de 288 lux. Como este valor é muito elevado, foi possível reduzir o consumo das lâmpadas para 32 W e obter uma iluminância média de 152 lux. A figura a) representa a solução atual e a b) a solução proposta.

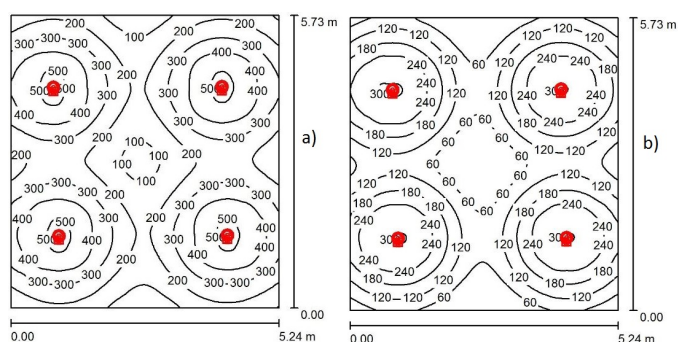


Figura 5.17: Distribuição da iluminação nas Escadas 1 e 5

Para o estudo económico foi considerada que estas lâmpadas encontram-se ligada durante 7 horas por dia. Como o estudo feito foi para as as duas escadas o resultado obtido será igual para ambas. As tabelas 5.13 e 5.14 ilustram os resultados obtidos para a escada 1, o resultado para a escada 5 será exatamente igual.

Tabela 5.13: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	PL-T 4 Pin(42W)	184	-	341,32
Solução Proposta	PL-C 4 Pin(32W)	140	44	259,7

Tabela 5.14: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	35,74€	-	-
Solução Proposta	13,56€	54,24€	27,19€	8,55€	6,35 anos

Escada 6

A iluminância média definida para Escadas é de 150 lux. Esta zona está iluminado por uma lâmpada T8 de 58 W, o nível médio de iluminação apurado foi de 195 lux, como não foi possível manter o valor da iluminância média nos outros estudos realizados utilizando a *LedTube* de 25 W (127 lux) e *GreenTubes* de 32 W (94 lux), a solução atual não será alterada. A distribuição da iluminação neste espaço encontra-se ilustrada na figura 5.18

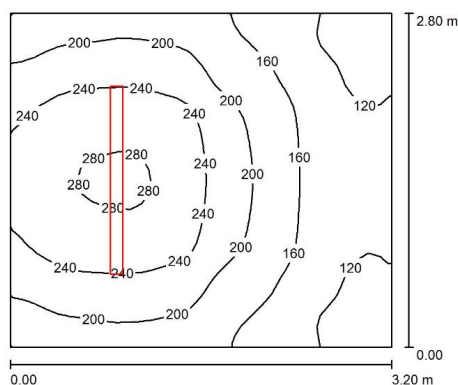


Figura 5.18: Distribuição da iluminação nas Escadas 6

5.2.1.2 Piso 1 da ERF

A semelhança do que foi feito no piso 2, o primeiro procedimento feito antes de realizar o estudo do sistema de iluminação neste piso, foi fazer o levantamento do número e do tipo de lâmpadas instaladas. Atualmente este piso conta com 219 lâmpadas instaladas sendo que 138 são T5 de 49 W, 3 são T5 de 35 W, 62 são compactas não integradas de 26 W, 16 são compactas não integradas de 42 W. As figuras que ilustram distribuição da iluminação nos diferentes espaços, quer para a solução atual ou sugerida estão apresentadas no anexo B.1

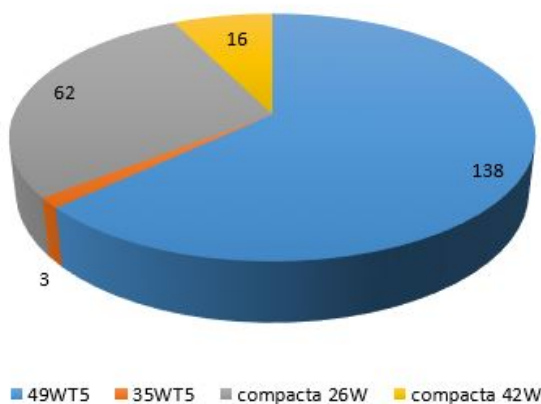


Figura 5.19: Lâmpadas instaladas no piso 1 da ERF

Corredor museu 1.1.A

Este espaço é constituído por 4 armaduras, em que cada uma incorpora uma lâmpada compacta não integrada de 42 W, com o casquilho do tipo GX24Q. A iluminância média obtida após a realização do estudo foi de 153 lux. Fez-se um novo estudo onde a potência das lâmpadas de duas armaduras foi alterada para 32 W e a das outras foi mantida nos 42W. O nível médio de iluminação registado foi de 117 lux. A imagem que ilustra a distribuição da iluminação neste espaço encontra-se ilustrada no anexo B.1, as lâmpadas que foram alteradas encontram-se assinaladas. As tabelas 5.15 e 5.16 representam a poupança gerada por esta substituição.

Tabela 5.15: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (w)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	PL-T 4 pin (42W)	184	0	341,32
Solução Proposta	PL-T 4 pin (32W)	162	22	300,51

Tabela 5.16: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	0	0	35,74€	0	0
Solução Proposta	13,56€	27,12€	31,46€	4,27€	6,35 anos

Corredor Centro de formação 1.1.B

A iluminação deste corredor é feita por lâmpadas compactas não integradas de 4 pinos de 26 W, com casquilho do tipo G24Q. Cada armadura tem duas lâmpadas. A iluminância média estipulada pela norma para este tipo de espaço é de 100 lux. O valor obtido após a realização do estudo no Dialux foi de 155 lux. Após vários estudos foi possível baixar o valor de iluminação média para 102 lux. Das 7 luminárias que compõem este espaço apenas manteve-se as mesmas lâmpadas para a quarta luminária que se encontra no centro das outras, a potência das lâmpadas das outras 6 luminárias foram baixadas para 18 W. Com um investimento de 38,94€ consegue-se uma poupança de 18,64 € por ano, com um tempo de retorno de investimento de 2,09 anos, o que é bastante ótimo.

Tabela 5.17: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	2xPL-C 4 Pin(26W)	378	0	701,19
Solução Proposta	2xPL-C 4 Pin(18W)	282	96	523,11

Tabela 5.18: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	73,41€	-	-
Solução Proposta	6,49€	38,94€	54,77€	18,64€	2,09 anos

Corredor sanitários 1.1.C

A iluminação deste espaço é feita por intermédio de 6 armaduras, cada uma delas com lâmpada duas lâmpadas compactas não integradas de 26 W. O nível médio de iluminação registado foi de 105 lux. Como a iluminância média definida pela norma é 100 lux, conclui-se que não é necessário alterar a potência das lâmpadas.

Corredor salas de aula 1.1.D

Dotado de 15 armaduras em que cada uma delas detêm duas lâmpadas fluorescentes de 26 W, o nível médio de iluminação para este espaço encontra-se em conformidade com o estabelecido pela norma. O valor atual é 101 lux.

Museu 1.2

O nível médio de iluminação para espaços museológicos é de 500 lux. A iluminação deste espaço é feita por intermédio de 20 luminárias, cada uma com uma lâmpada T5 de 49 W. Os 388 lux obtido para o nível médio de iluminação encontra-se abaixo do valor recomendado pela norma. Após a realização de novos estudos no software *Dialux* foi possível aumentar o nível de iluminação alterando 8 das 20 lâmpadas de 49 W para 80 W. O resultado registado foi de 509 lux.

Gabinete de Psicologia 1.3

A iluminação deste espaço é atualmente suportada por duas armaduras do tipo E7, onde cada uma incorpora uma lâmpada fluorescente linear de 49 W. O valor médio do nível de iluminação para a atual situação deste espaço foi de 389 lux. Este valor encontra-se muito aquém dos valores estipulados, 500 lux. Aumentou-se a potência de uma das lâmpadas para 80W e manteve-se o outro nos 49W, e o resultado obtido foi de 473 lux. Só é possível suprir o valor médio do nível de iluminância substituindo as duas de 49 W por lâmpadas fluorescentes lineares de 80 W. O valor da iluminância obtido com as duas lâmpadas de 80W foi de 556 lux.

Sala de Apoio a alunos 1.4 e Sala de trabalho 1.5B

A sala 1.4 está equipada com 2 armaduras, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49W, o que faz com que o valor da iluminância média da sala seja de 507 lux. Sendo este valor muito elevado, procede-se a redução do consumo alterando as 4 lâmpadas de 49 W para lâmpadas T5 de 35 W. Desde modo a sala passa a dispor de um nível médio de iluminação de 388 lux. As tabelas 5.19 e 5.20 refletem os benefícios alcançados com esta alteração.

Segundo o documento de Referência para o nível de iluminação, estes dois espaços partilham o mesmo nível de iluminância média. Isto é devido pelo facto das suas áreas serem aproximadamente iguais, bem como a distribuição das luminárias e o modelo. Como resultado disso, o estudo dos níveis de iluminação realizado é igual para ambas as salas. Assim o valor obtido de 388 Lux é aplicado também á sala 1.5B.

Tabela 5.19: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	212	-	280,9
Solução Proposta	T5 35W	156	56	206,7

Tabela 5.20: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	29,41€	-	-
Solução Proposta	8,01€	32,04€	21,64€	7,77€	4,12 anos

Sala de trabalho 1.5.A

O sistema de iluminação desta sala encontra-se dotado de armaduras do tipo E7, onde cada uma das armaduras engloba uma lâmpada T5 de 49 W. Após a realização do primeiro estudo *Dialux*, foi possível constatar que o nível de iluminância média encontra-se acima do valor de referência. O nível de iluminação registado foi de 385 lux, e o recomendado para este tipo de espaço é de 300 lux. Realizou-se um novo estudo, onde as atuais lâmpadas foram substituídas por T5 de 35 W e o resultado obtido foi de 303 lux.

Tabela 5.21: Consumo anual por área

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	108	0	143,1
Solução Proposta	T5 35W	76	32	100,7

Tabela 5.22: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	14,98€	-	-
Solução Proposta	8,01€	16,02€	10,54€	4,44€	3,61 anos

Sala de apoio ao museu 1.6

O nível médio de iluminação para as salas de apoio é de 300 lux. A iluminância média da sala é de 274 lux, Como existem duas luminárias na sala, cada uma com uma lâmpada T5 de 49W, uma das lâmpadas foi alterada para 80 W. Com esta alteração o valor da iluminância média aumentou

para 332 lux.

Centro de Formação 1.7

Constituído por 8 armaduras do tipo E1, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W, o nível de iluminação para esta sala encontra-se perfeitamente enquadrada com o valor de referência. O valor registado foi de 507 lux e o valor de referência é de 500 lux. Conclui-se que para este caso não é necessário alterar as lâmpadas instaladas.

Distribuição sanitários 1.8

O nível médio de iluminação considerado para este espaço é de 100 lux. A iluminação da sala é feita por intermédio de três armaduras, em que cada uma delas tem duas lâmpadas fluorescentes compactas de 26 W, o nível médio de iluminação registado foi de 249 lux. Realizou-se um novo estudo onde todas lâmpadas foram alteradas para 18 W e obteve-se um nível médio de iluminação de 156 lux. Com esta alteração é possível reduzir o consumo de energia elétrica sem prejudicar a qualidade de iluminação necessária este espaço. As tabelas 5.23 e 5.24 ilustram as poupanças obtidas com esta alteração.

Tabela 5.23: Consumo anual por área

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	2xPL-C 4 Pin(26W)	162	0	257,58
Solução Proposta	2xPL-C 4 Pin(18W)	114	48	181,26

Tabela 5.24: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	26,97€	-	-
Solução Proposta	6,49€	38,94€	18,98€	7,99€	4,87 anos

Sanitários deficientes 1.9

A iluminância média estabelecida pela norma para este tipo de espaço é de 200 lux. A iluminação deste espaço é suportada por armadura do tipo E3, com uma lâmpada T5 de 35W. Como a iluminância média obtida após a realização do estudo foi de 241 lux, não será efetuada nenhuma alteração neste espaço.

Sanitário feminino 1.10

A iluminação deste espaço é feita por intermédio de uma luminária, com uma lâmpada T5 de 35 W e o nível médio de iluminação é de 158 lux. Como o valor de referência é de 200 lux, a potência da lâmpada foi aumentada para 49 W e a iluminância média aumentou para 205 lux, permitindo assim corrigir do nível médio de iluminação.

Sanitário masculino 1.11

Este espaço tem uma iluminância média de 138 lux, a iluminação é feita por intermédio de uma armadura do tipo E3, com uma lâmpada T5 de 35 W. Realizou-se um novo estudo em que a potência da lâmpada foi aumentada para 49 W, mas o valor obtido para nível médio de iluminação revelou-se insuficiente, 179 lux. De seguida a potência da lâmpada foi aumentada para 80 W e obteve-se uma iluminância média de 256 lux.

Sala de Aula 1.12.A

O nível médio de iluminação desta sala é de 387 lux, e o definido pela norma é de 300 lux. A iluminação é garantido por quatro armaduras (E1), com 2 lâmpadas T5 49 W cada uma. Fez-se um novo estudo com objetivo de reduzir o consumo, trocando metade das lâmpadas para 49 W, do resultado obtido foi possível observar que a distribuição do fluxo luminoso deixaria de ser uniforme, haveria zonas da sala que o conforto dos alunos estariam em causa. Perante este facto a iluminação da sala será mantida.

Sala de Aula 1.12B e Sala de Aula 1.12C

As áreas das duas salas de aulas são aproximadamente iguais, tem o mesmo número de luminárias, a distribuição das luminárias é feita da mesma forma e o modelo também é o mesmo. Perante este facto apenas realizou-se o estudo para sala 1.12B, mas resultado obtido também aplica-se a sala 1.12C.

A iluminação da sala 1.12B é realizada por intermédio de duas armaduras do tipo E1, com duas lâmpadas T5 de 49 W cada. O nível de iluminação média obtido foi de 291 lux, e o valor de referência é de pelo menos 300 lux. Sugere-se que cada armadura passa a ter uma lâmpada T5 de 49 W e 80 W.

Sala de Aula 1.12D; 1.12E; 1.12F; 1.12G; 1.12H; 1.12I e 1.12J

A área destas sete salas varia ligeiramente uma das outras, o número de lâmpadas e armaduras é a mesma e encontram-se distribuídas da mesma forma pela sala. Desde modo, o estudo vai ser feito apenas para a sala 1.12J e o resultado obtido será aplicado às restantes seis salas. A sala 1.12J dispõe de 4 armaduras (E1), com duas lâmpadas T5 de 49 W cada. Após realizar o estudo no Dialux registou-se uma iluminância média de 467 lux. Tendo em conta que o nível médio de iluminação encontra-se muito acima do valor de referência, 300 lux, foi realizado um novo estudo em que todas as lâmpadas foram alteradas para 35 W e o resultado obtido foi de 358 lux. Sugere-se que todas estas lâmpadas sejam alteradas para lâmpadas T5 de 35 W, em todas estas sete salas, permitindo assim uma redução nos consumos. As tabelas 5.25 e 5.26 ilustram os benefícios que serão alcançadas, alterando as lâmpadas de 49 W para 35 W. O resultado obtido também aplica-se às restantes seis salas. Com esta alteração será possível poupar 18,64€ por ano em cada, ou seja, cerca 130,48€ no total das sete salas.

Tabela 5.25: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	424	-	674,16
Solução Proposta	T5 35W	312	112	496,08

Tabela 5.26: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	70,58€	-	-
Solução Proposta	8,01€	64,08€	51,94€	18,64€	3,44 anos

Sala de desenho 1.13

Equipada com 8 armaduras do tipo E1, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W, o nível médio de iluminação da sala é de 380 lux, como o valor de referência para o nível médio de iluminação para uma sala de desenho é de 500 lux, as lâmpadas foram alteradas para 80 W e obteve-se uma iluminância média de 556 lux.

Escada 1, escada 2 e escada 5

Visto que estas escadas tem as mesmas características do que as escadas 1 e 5, analisadas no piso 2 a análise e o resultado obtido será mesma. Os resultados ilustrados nas tabelas 5.27 e 5.28 representam os benefícios obtidos para a escada 1, que também se aplica as escadas 2 e 5.

Tabela 5.27: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	PL-T 4 Pin(42W)	184	-	341,32
Solução Proposta	PL-C 4 Pin(32W)	140	44	259,7

Tabela 5.28: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	35,74€	-	-
Solução Proposta	13,56€	54,24€	27,19€	8,55€	6,35 anos

5.2.1.3 Piso -1 da ERF

A partir do levantamento luminotécnico efetuado para este piso, antes de efetuar o estudo do sistema de iluminação foi possível constatar que a iluminação é feita maioritariamente por lâmpadas T5 de 49 W. Este piso encontra-se equipado com 195 lâmpadas T5 de 49 W, 30 lâmpadas T8 de 58 W, 13 lâmpadas T5 de 35 W, 9 lâmpadas compactas de 42 W e 3 lâmpadas incandescentes de 60 W. As figuras retiradas após a realização do estudo no Dialux, que representam a distribuição da iluminação nos espaços, podem ser consultadas no anexo B.2.

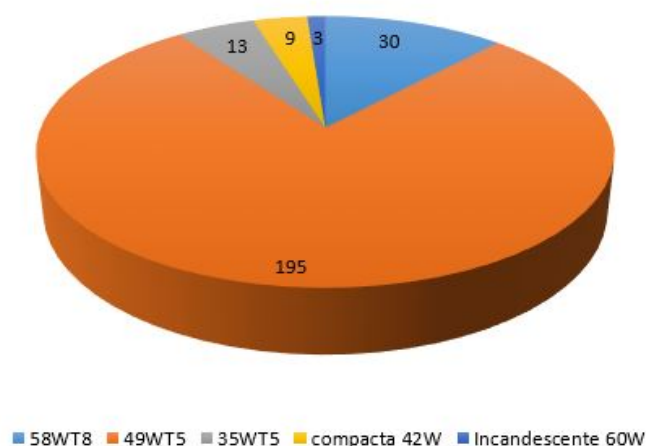


Figura 5.20: Lâmpadas instaladas no piso -1 da ERF

Corredor sanitários -1.1A

O valor de referência para o nível médio de iluminação para este espaço é de 100 lux. Após a realização do estudo para o atual sistema de iluminação da sala, quatro armaduras do tipo E1, cada uma com uma lâmpada T5 de 49 W foi obtido uma iluminância média de 233 lux. Para baixar este valor foi realizado um novo estudo em que todas as lâmpadas foram alteradas para T5 de 35 W. Com este novo estudo foi possível baixar o valor de iluminância para 179 lux. Realizou-se um outro estudo, neste caso desligando algumas lâmpadas, com intenção de reduzir a ainda mais o consumo. Como a distribuição de iluminação deixou de ser uniforme, conclui-se que a melhor solução para este caso seria a alteração das lâmpadas T5 de 49 W por T5 de 35 W.

As vantagens proporcionadas por esta solução encontram-se ilustradas nas tabelas 5.29 e 5.30. Durante o cálculo foi considerada que as lâmpadas estão ligadas 7 horas por dia.

Tabela 5.29: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	216	-	400,68
Solução Proposta	T5 35W	152	64	281,96

Tabela 5.30: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	41,95€	-	-
Solução Proposta	8,01€	32,04€	29,52€	12,43€	2,58 anos

Corredor Salas de aula -1.1B

O nível médio de iluminação presente neste espaço é de 207 lux. Dado que o valor de referência é 100 lux, fez-se um novo estudo onde as 14 lâmpadas de 49 W instaladas nas 14 armaduras deste espaço foram alteradas para lâmpadas T5 de 35 W e obteve-se uma iluminância média de 159 lux. As tabelas 5.31 e 5.32 apresentam as poupanças alcançadas durante um ano. Com esta alteração, consegue-se uma redução de 30% no consumo o que corresponde a uma poupança de 43,50€ por ano, foi considerada que as lâmpadas funcionam durante 7 horas por dia.

Tabela 5.31: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	756	-	1402,38
Solução Proposta	T5 35W	532	224	986,86

Tabela 5.32: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	146,83€	-	-
Solução Proposta	8,01€	112,14€	103,32€	43,50€	2,58 anos

Corredor refeitório -1.1C

A iluminação deste espaço é feita por meio de duas luminárias, cada uma com uma lâmpada fluorescente T5 de 49 W. Da realização do estudo feito no *Dialux*, obteve-se uma iluminância média de 194 lux, quase o dobro do referenciado pela norma. Fez-se um novo estudo onde as duas lâmpadas foram alteradas para lâmpadas T5 de 35 W e o resultado obtido foi de 149 lux. As poupanças alcançadas com esta alteração encontram-se ilustradas nas tabelas 5.33 e 5.34.

Tabela 5.33: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	108	-	200,34
Solução Proposta	T5 35W	76	32	140,98

Tabela 5.34: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	20,98€	-	-
Solução Proposta	8,01€	16,02€	14,76€	6,21€	2,58 anos

Corredor refeitório -1.1D

Este corredor está dividido em duas partes. A iluminação da parte 1, é feito por meio de 5 armaduras do tipo E1, cada uma com uma lâmpada T5 de 49 W. através da simulação realizada no *Dialux* foi possível perceber que a iluminação média está muito acima do valor referência. O valor de referência é de 100 lux e o nível de médio de iluminação registado foi de 243 lux. Foram realizadas vários estudos para baixar esse valor, num dos estudos foram desligadas duas das cinco luminárias ficando com apenas três ligadas. Apesar de ter-se obtido um valor de iluminância superior a 100 lux, haveria zonas neste espaço que ficaria praticamente as escuras. Por esse motivo essa hipótese foi descartada. A solução ideal foi baixar a potência de todas as lâmpadas para 35 W. Com essa alteração foi possível obter uma redução significativa nos consumos, e ter uma iluminância média ainda muito confortável, 187 lux. O processo de estudo para a parte 2 deste corredor foi exatamente a mesma do que a foi feito para a parte 1, sendo que a única diferença reside no número de luminárias. O nível de iluminação médio para este caso é de 247 lux, com 6 luminárias todas com lâmpadas T5 de 49 W. Alterando as lâmpadas para 35 W, o valor registado para a iluminância média foi de 190 lux.

Os valores que ilustram as poupanças obtidas com alteração efetuada na duas divisões que fazem parte do corredor -1.1D encontram-se representadas nas tabelas 5.35 e 5.36.

Tabela 5.35: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	594	-	1101,87
Solução Proposta	T5 35W	418	176	775,39

Tabela 5.36: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	115,36€	-	-
Solução Proposta	8,01€	88,1€	81,18€	34,18€	2,58 anos

Corredor passagem pátio -1.1E

Equipado com três armaduras do tipo E2.1, em que cada uma das armaduras é composto por uma lâmpada T5 de 49 W, o nível médio de iluminação obtido para este espaço após a realização do estudo no *Dialux* foi de 114 lux. Como o valor de referência é de 100 lux, conclui-se que as

lâmpadas instaladas não precisam de ser alteradas.

Corredor áreas de aprendizagem informal -1.1F

Este espaço é composto por 10 luminárias, cada uma com uma lâmpada de T5 de 49 W, a iluminância média obtida após a realização do estudo no *Dialux* foi de 239 lux. Como este valor é muito elevado, optou-se por substituir todas as lâmpadas para T5 de 35 W. O resultado do nível médio de iluminação registado foi de 183 lux. Com esta alteração é obtida uma poupança anual no valor de 31,07€, as tabelas 5.37 e 5.38 a redução obtidas para o consumo e o tempo de retorno de investimento.

Tabela 5.37: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	540	-	1001,7
Solução Proposta	T5 35W	380	160	704,9

Tabela 5.38: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	104,88€	-	-
Solução Proposta	8,01€	80,1€	73,80€	31,07€	2,58 anos

Corredor áreas técnicas -1.1G

A iluminação do presente espaço é realizada por meio de 5 armaduras, cada uma delas com uma lâmpada T8 de 58 W. A iluminância média é de 194 lux, o consumo deste espaço pode ser reduzido substituindo as lâmpadas T8 de 58W por *greenTubes* de 32 W, que é uma lâmpada fluorescente economizadora com o mesmo tamanho (150 cm). Esta mudança permite diminuir significativamente o consumo e continuar com nível médio de bastante confortável (126 lux). Os benefícios proporcionados por esta alteração encontram-se ilustrados na tabela 5.39 e 5.40.

Tabela 5.39: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T8 58 W	275	-	510,125
Solução Proposta	GreenTubes 32 W	175	100	324,625

Tabela 5.40: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	53,41€	-	-
Solução Proposta	36,29€	181,45€	33,99€	19,42€	9,34 anos

Corredor salas SFE -1.1H

Composto por 5 armaduras do tipo E1, cada uma delas com uma lâmpada T5 de 49 W, a iluminância média deste corredor é de 211 lux. Como o valor de referência é de pelo menos 100 lux, as lâmpadas foram alteradas para 35 W. Com a alteração das lâmpadas foi possível reduzir o consumo sem infringir o valor mínimo definido para a iluminação deste espaço. O nível médio de iluminação foi assim alterado para 162 lux. As tabelas 5.41 e 5.42 ilustram a redução obtido nos consumos e a vantagens proporcionadas a nível financeiro.

Tabela 5.41: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	270	-	500,85
Solução Proposta	T5 35W	190	80	352,45

Tabela 5.42: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	52,44	-	-
Solução Proposta	8,01€	40,05€	36,90€	15,54€	2,58 anos

Sala funcionários -1.2

Esta sala tem duas armadas, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W. A iluminação média registada após realizar o estudo no *Dialux* foi de 338 lux. Realizou-se novos estudos com o intuito de reduzir o consumo, sem retirar o nível mínimo de conforto da iluminação para os utilizadores. Mas tal não foi possível, dado que os valores obtidos para o nível de iluminação foram inferiores a 300 lux.

Vestiário feminino -1.3; Balneário/sanitário feminino -1.4; Vestiário masculino -1.5 e Balneário/sanitário masculino -1.6

O valor de médio do nível de iluminação definido para este tipo de espaços é de 200 lux. Tendo em conta que as áreas dos quatros espaços variarem ligeiramente uma das outras, acrescido do facto de o número, o modelo e distribuição das luminárias serem as mesmas, o resultado do estudo realizado para o vestiário feminino -1.3 também aplica-se aos outros locais. O espaço em análise é constituído por uma armadura, com uma lâmpada T5 de 35 W. Depois da realização do estudo realizado no *Dialux* obteve-se um nível médio de iluminação de 194 lux. Como este valor encontra-se ligeiramente abaixo do valor de referência, sugere-se que a potência da lâmpada fosse alterada para 49 W. Com esta nova alteração estes espaços passam a dispor de uma iluminância média 252 lux

Sanitário feminino -1.7 e Sanitário masculino -1.8

Estes dois espaços têm o mesmo número de armadura, a potência das lâmpadas é a mesma e a disposição das armaduras é mesma. Como a área dos dois espaços variam ligeiramente uma das outras fez-se apenas o estudo dos níveis médios de iluminação para o Sanitário feminino -1.7. Como o valor obtido para o nível médio de iluminação após a realização do estudo no *Dialux* foi de 201 lux e o de referência é 200 lux, não será efetuada nenhuma alteração neste caso. Este resultado também aplica-se ao Sanitário masculino -1.8.

Sala de EVT/serigrafia -1.9

O Nível médio de iluminação definido para uma sala de educação tecnológica é de 500 lux. A sala encontra-se instalada com duas armaduras, onde cada uma tem duas lâmpadas T5 de 49 W. O nível de iluminância obtido foi de 321 lux. Dado que este valor encontra-se muito abaixo do valor de referência, as lâmpadas foram alteradas para 80 W. Mas mesmo assim o resultado obtido continua a ser insuficiente (470 lux). Perante esta situação sugere-se que se incrementa uma nova armadura, com duas lâmpadas 80 W.

Arrecadação -1.10

A iluminação deste espaço é garantida por duas lâmpadas incandescentes de 60W, essas lâmpadas podem ser substituídas por lâmpadas compactas integradas de 15W que é equivalente a uma lâmpada incandescente de 65 W e tem o mesmo tipo de casquilho E27. As vantagens alcançadas com esta solução encontram-se representadas nas tabelas 5.43 e 5.44.

Tabela 5.43: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	Incandescente 60W	120		95,4
Solução Proposta	Compacta 15W	30	90	23,85

Tabela 5.44: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	9,99€	-	-
Solução Proposta	7,13€	14,26€	2,50€	7,49€	1,90 anos

Salas de Aulas -1.11A; -1.11B; -1.11C; -1.11D; -1.11E; -1.11F e -1.11G

O valor de referência para o nível médio de iluminação para sala de aula normal é de 300 lux. Como as áreas desses espaços variam ligeiramente uma das outras, e tendo em conta também que as luminárias tem a mesmas características e encontram-se distribuídos da mesma forma pelas salas, mais o facto do número das armaduras e lâmpadas serem iguais, o estudo realizado para a sala -1.11A aplica-se às outras seis salas. A sala -1.11A é iluminada por meio de 4 armaduras, cada uma delas com duas lâmpadas T5 de 49 W. Realizada a simulação no *Dialux*,

registou-se um valor de 477 lux de iluminância média, sendo este valor muito elevado realizou-se um novo estudo, onde as lâmpadas foram todas alteradas para 35 W e valor da iluminância média registado foi de 336 lux. As poupanças e redução de consumo alcançados para esta sala encontram-se ilustradas nas tabelas 5.45 e 5.46, estes resultados também se aplicam às outras salas.

Tabela 5.45: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	424	-	674,16
Solução Proposta	T5 35W	312	112	496,08

Tabela 5.46: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	70,58€	-	-
Solução Proposta	8,01€	64,08€	51,94€	18,64€	3,44 anos

Arrecadação -1.12

A solução aplicada ao arquivo -1.10 aplica-se também ao arquivo -1.12, diferenciando-se apenas no número de lâmpadas, neste caso apenas existe uma lâmpada incandescente de 60W. As vantagens proporcionadas por esta alteração encontram-se nas tabelas 5.47 e 5.48.

Tabela 5.47: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	Incandescente 60W	60	-	47,7
Solução Proposta	Compacta 15W	15	45	11,925

Tabela 5.48: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	9,99€	-	-
Solução Proposta	7,13€	14,26€	2,50€	7,49€	1,90 anos

Sala de EVT -1.13

Este espaço encontra-se equipado com seis armaduras do tipo E1, cada uma delas com duas lâmpadas T5 de 49 W. O valor obtido após a realização do estudo por intermédio de *Dialux* foi de 365 lux. Este acima valor é muito baixo, dado que o valor de iluminância média definido para este espaço é de 500 lux. Fez-se um novo estudo onde todas as lâmpadas foram alteradas para 80 W e o resultado obtido foi de 533 lux. Após este estudo depreende-se que a melhor solução para

combater o défice de iluminância média é alterar todas as lâmpadas para 80 W.

Sala Apoio EVT -1.14

O sistema de iluminação é composto por duas armaduras, sendo uma lâmpada T8 de 58 W cada. O valor de referência da Iluminância média é 300 lux, e o deste espaço é 278 lux. Para que a sala possa dispor de uma iluminância média de pelo menos 300 lux, as duas lâmpadas foram substituídas por Eco-balastro adaptador da *GreenTubes* uma dotada com uma lâmpada de 49 W e a outra com uma de 80 W, a nível médio de iluminação passa a ser de 305 lux.

Sala EVT -1.15.A

A iluminação desta sala é feita através de 4 armaduras do tipo E1, em que cada uma das armaduras é constituída por duas lâmpadas T5 de 49 W. Após o estudo efetuado no *Dialux* registou-se um valor de 443 lux de nível médio de iluminação. Como o valor obtido é inferior ao definido pela norma, a potência das lâmpadas de duas armaduras foram aumentadas para 80 W, ficando assim a sala com composta duas armaduras com lâmpadas de 49 W e duas armaduras com lâmpadas de 80W. A iluminação média obtida para esta nova situação foi de 546 lux, permitindo assim dessa forma suprir o défice de iluminação.

Sala EVT -1.15.B

Esta sala é composta por seis armaduras do tipo E1, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W. O valor obtido após o estudo realizado no *Dialux* foi de 421 lux. Após a realização de alguns estudos foi possível concluir que a solução mais viável passa por aumentar a potência das lâmpadas de quatro armaduras para 80 W e manter os 49 W nas restantes duas armaduras. Foi possível aumentar a iluminância média para 550 lux, satisfazendo dessa forma o valor referência.

Arquivo -1.16A; Arquivo-1.16B; Central elétrica-1.28; Arquivo -1.29B e Arquivo -1.29 D

O valor de referência do nível médio de iluminação para estes cinco espaços é o mesmo, 200 lux. Dado que ambos estão iluminados pelo mesmo tipo de armadura e o mesmo tipo de lâmpada, apenas foi realizado o estudo para o arquivo -1.29B. O resultado obtido aplica-se às restantes. A iluminação do arquivo -1.29B é realizada por intermédio de duas lâmpadas T8 de 58 W, a iluminância registada foi de 164 lux, este valor pode ser corrigido trocando às duas lâmpadas por duas lâmpadas T5 de 80 W, encaixadas num eco-balastro adaptador.

Sala Apoio EVT -1.17

A iluminação do presente espaço é assegurada por uma lâmpada T8 de 58 W. A iluminância média da sala (139 lux) , encontra-se abaixo do valor de referência. Então sugere-se a troca por um eco balastro adaptador/suporte dotada de uma lâmpada T5 de 80 W e que se incremente uma nova armadura com uma lâmpada T5 de 80 W, de modo a suprir o valor da iluminação em falta.

Associação dos estudantes -1.18

O nível médio de iluminação definido para as áreas sociais de convívio é de 200 lux. Este espaço é composto por duas armaduras, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W. O resultado obtido para iluminância média no *Dialux* foi de 346 lux. Como o valor registado é muito elevado, as lâmpadas foram alteradas para T5 de 35 W e obteve-se um de 266 lux de nível médio de iluminação. Comparando os dois resultados depreende-se que a melhor solução é alterar as lâmpadas para 35 W. As tabelas 5.49 e 5.50 revelam a redução nos consumos e a poupança originada por essa solução.

Tabela 5.49: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	212	-	280,9
Solução Proposta	T5 35W	156	56	206,7

Tabela 5.50: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	29,41€	-	-
Solução Proposta	8,01€	32,04€	21,64€	7,77€	4,12 anos

Áreas de aprendizagem informal -1.19.A

O valor de referência do nível médio de iluminação para as áreas destinadas ao ensino de aprendizagem informal é de 300 lux. O espaço em análise é composto por 5 armaduras do tipo E1, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W. O valor obtido após a análise no *Dialux* foi de 304 lux. Conclui-se que os níveis de iluminação média deste espaço satisfazem o valor de referência.

Áreas de aprendizagem informal -1.19B

A iluminação deste espaço é garantida por 6 armaduras do tipo E1, cada uma com duas lâmpadas T5 de 49 W. Face aos 317 lux obtidos para a iluminância média, após a realização do estudo, conclui-se que o nível médio de iluminação deste espaço encontra-se de acordo com o valor de referência norma.

Áreas de aprendizagem informal -1.19C

Este espaço encontra-se equipado com quatro armaduras do tipo E1 e duas do tipo E7. As do tipo E1 estão equipadas com duas lâmpadas T5 de 49 W e as tipo E7 estão equipadas com uma lâmpada T5 de 49 W cada uma. O valor da iluminância média obtida foi de 364 lux. Depois de algumas tentativas foi possível reduzir o consumo neste espaço, alterando 6 lâmpadas para 35 W, o valor da iluminação média obtida foi de 316 lux. As tabelas 5.51 e 5.52 ilustram as vantagens alcançadas com esta nova solução, durante o cálculo foi considerado que as lâmpadas funcionam durante quatro horas por dia.

Tabela 5.51: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	532	-	563,92
Solução Proposta	T5 35W	444	88	470,64

Tabela 5.52: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	59,04€	-	-
Solução Proposta	8,01€	48,06€	49,28€	9,77€	4,92 anos

Áreas de aprendizagem informal -1.19D

Constituída por seis armaduras do tipo E1, em que cada uma delas é composta por 2 lâmpadas de 49 W, esta sala tem uma iluminância média de 336 lux, como o valor de referência é de 300 lux, presume-se que não é necessário atuar nas luminárias.

Arrecadação da loja -1.21 e Grupo eletrobomba -1.27

O valor de referência para o nível médio de iluminação para as arrecadações é de 100 lux. A iluminação do presente espaço é garantida por meio de uma lâmpada T8 de 58 W e o valor obtido para o nível médio de iluminação foi de 114 lux. Caso a potência da lâmpada fosse baixada, o nível médio de iluminação baixaria para valores inferiores à 100 lux. Perante este facto conclui-se a lâmpada não deve ser alterada. O estudo realizado também se aplica ao espaço do grupo eletrobomba visto que partilha da mesma característica.

Loja -1.22

O nível médio de iluminação definido para este tipo de espaço é de 300 lux. A loja é composta por quatro armaduras, com duas lâmpadas de 49 W cada uma. Depois de efetuar uma análise por intermédio do *Dialux*, foi possível verificar que o valor da iluminância média é muito superior ao que é necessário para este espaço, o valor obtido foi de 427 lux, após a alteração da potência de todas as lâmpadas para 35 W, o valor foi reduzido para 328 lux, permitindo assim uma redução de 26,42% na potência das lâmpadas e uma poupança anual de 15,54€, foi considerado que as lâmpadas estão ligadas durante cinco horas por dia. Os resultados alcançados podem ser consultados nas tabelas 5.53 e 5.54.

Tabela 5.53: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	424	-	561,8
Solução Proposta	T5 35W	312	112	413,4

Tabela 5.54: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	58,82€	-	-
Solução Proposta	8,01€	64,08€	43,28€	15,54€	4,12 anos

Distribuição sanitários -1.23

Constituído por uma armadura do tipo E3, com uma lâmpada T5 de 35 W, a iluminância média obtida para este espaço foi de 137 lux. Como o valor de referência é 100 lux, depreende-se que o valor obtido é satisfatório.

Sanitário de deficientes -1.24; Sanitário masculino -1.25 e Sanitário feminino -1.26

O valor de referência da iluminância média para este tipo de espaço é de 200 lux. A iluminação do sanitário de deficientes é feita por intermédio de uma lâmpada T5 de 35 W. Com a realização do estudo no Dialux foi possível confirmar que o nível médio de iluminação 236 lux obtido enquadra-se com o valor de referência.

O estudo do nível médio de iluminação realizado para o sanitário masculino -1.25 também aplica-se ao sanitário feminino -1.26, visto que a área dos dois espaços variam ligeiramente uma das outras, o número, o modelo e a disposição das luminárias é mesma. A iluminação do sanitário masculino é feita por intermédio de duas lâmpadas T5 de 35 W, o valor obtido para o nível médio de iluminação foi de 238 lux, perante este resultado assumiu-se que não era necessário atuar neste espaço.

Arquivo 1.29A e Arquivo 1.29C

O estudo realizado para o arquivo 1.29A, também aplica-se ao arquivo -1.29C, dado que são os mesmos, o valor de referência, o número, a potência e a distribuição das lâmpadas ao longo dos espaços também. O arquivo 1.29A encontra-se equipada com 4 armaduras, com uma T8 de 58 W cada uma, a iluminância média obtido foi de 203 lux, tendo em conta que o valor de referência é 200 lux, presume-se que não é necessário alterar as lâmpadas instaladas.

Escada 1, escada 2, escada 3 e escada 4

Visto que estas escadas tem as mesmas características do que às escadas 1 e 5, analisadas no piso 2, a análise e o resultado seria o mesmo. Os resultados ilustrados nas tabelas 5.55 e 5.56 representam os benefícios obtidos para a escada 1, que também se aplica as escadas 2, 3 e 4.

Tabela 5.55: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	PL-T 4 Pin(42W)	184	-	341,32
Solução Proposta	PL-C 4 Pin(32W)	140	44	259,7

Tabela 5.56: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	35,74€	-	-
Solução Proposta	13,56€	54,24€	27,19€	8,55€	6,35 anos

5.2.2 Estudo do Nível Médio de Iluminação do CM e Análise dos Resultados Obtidos

Pelos motivos mencionados anteriormente, nesta secção foram analisados apenas seis espaços das instalações do Conservatório da Música. A distribuição da iluminação pelos espaços analisados encontram-se representados no anexo [B.3](#).

Pavilhão -1.25

Localizada no piso -1 da escola conservatório da música (CM), a iluminação do presente ginásio é feita por intermédio de 8 armaduras, com duas lâmpadas T5 de 49 W cada uma. O nível médio de iluminação obtido após o estudo realizado no Dialux foi de 394 lux, apesar de a substituição das lâmpadas 49 W por 35 W baixar os níveis de iluminação, isso não será um problema visto que o valor do nível médio iluminação obtido foi de 303 lux e o de referência são 300 lux. Com um investimento de 128,16 € obtém-se uma poupança de 37,29 € por ano com o tempo de retorno de 3,44 anos, os resultados podem ser consultadas nas tabelas [5.57](#) e [5.58](#).

Tabela 5.57: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	848	-	1348,32
Solução Proposta	T5 35W	624	224	992,16

Tabela 5.58: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	141,17€	-	-
Solução Proposta	8,01€	128,16€	103,88€	37,29€	3,44 anos

Sala polivalente -1.27

O valor de referência do nível médio de iluminação para espaço polivalente é de 500 lux. A sala está dotada de 35 armaduras, cada uma delas com uma lâmpada T5 de 49 W, o nível médio de iluminação obtido foi de 502 lux, presumiu-se não ser necessário nenhum tipo de intervenção para esta sala.

Refeitório -1.29

Este espaço é composto por 12 armaduras, em que cada uma delas é constituída por duas lâmpadas T5 de 49 W. Após a realização do estudo no *Dialux* foi possível constatar que o nível médio da iluminação do presente refeitório é muitíssimo elevado 600 lux, enquanto que o valor de referência é de 200 lux. Fez-se um novo estudo onde a potência de todas as lâmpadas foram reduzidas par 35 W, mas o nível médio de iluminação manteve-se elevado, 460 lux. No último estudo efetuado considerou-se uma lâmpada de T5 de 35 W por cada armadura em vez de duas e o valor médio de iluminação obtido foi de 240 lux. Com um investimento de 96,12€, consegue-se uma poupança anual de 69,92€ com um período de retorno de investimento de 1,37 anos, o que é magnífico. Estes resultados estão ilustrados nas tabelas 5.59 e 5.60.

Tabela 5.59: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	1296	-	1030,32
Solução Proposta	T5 35W	456	840	362,52

Tabela 5.60: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	107,87€	-	-
Solução Proposta	8,01€	96,12€	37,96€	69,92€	1,37 anos

Cozinha -1.30

O nível médio de iluminação para uma cozinha é 500 lux. Este espaço encontra-se equipado com 6 armaduras, em que cada uma delas contem uma lâmpada fluorescente T8 de 58 W, a iluminação média registada foi de 301 lux. A possibilidade de corrigir este valor consiste em trocar a potência das 6 lâmpadas instaladas por lâmpadas de 80 W, utilizar um Eco-balastro adaptador/suporte e também incrementar mais três armaduras, tendo cada uma delas uma lâmpada de 49W. Com a esta alteração, o nível de iluminação aumentaria para 530 lux, corrigindo assim o valor da iluminação média. A solução sugerida encontra-se ilustrada no anexo B.3.

Sala de primeiros socorros -2.14B

O nível médio de iluminação para este tipo de espaço é 500 lux. Este espaço encontra-se equipado com uma armadura, que por sua vez encontra-se equipada com duas lâmpadas T8 de 58 W. A iluminação média apurada após o estudo realizado no *Dialux* foi de 503 lux. Comparando o valor obtido com o de referência conclui-se que não necessário alterar as lâmpadas instaladas.

Sala de percussão -2.26

Segundo a norma EN12464-1 o valor de iluminação média para uma sala de prática musical é de 300 lux. Esta sala encontra-se equipada com 8 armaduras, cada uma delas com duas lâmpadas

T5 de 49 W, o resultado registado para o nível médio de iluminação após o estudo realizado foi de 408 lux. De modo a reduzir o consumo as lâmpadas foram alteradas para 35 W e obteve-se uma iluminância média de 313 lux. Os benefícios alcançados com esta alteração encontram-se registados nas tabelas 5.61 e 5.62. Foi considerado que as lâmpadas são utilizadas durante 4 horas por dia durante todo o ano. O tempo de retorno de 5,15 anos é um valor um pouco elevado, mas tendo em conta que há vários espaços com a mesma característica, aplicando a mesma solução nos outros espaços, permitiria economias importantes à instituição.

Tabela 5.61: Consumo anual por áreas

	Tipo Lâmpada	P. Total (W)	Redução (W)	Consumo Anual (kWh)
Solução Atual	T5 49 W	848	-	898,88
Solução Proposta	T5 35W	624	224	661,44

Tabela 5.62: Análise da viabilidade económica da solução proposta

	Preço por Unid.	Investimento	Custo Anual	Poupança	Retorno
Solução Atual	-	-	94,11€	-	-
Solução Proposta	8,01€	128,16€	69,25€	24,86€	5,16 anos

5.2.3 Considerações gerais sobre a Iluminação

Do estudo realizado para os 108 espaços, constatou-se que existem 34 espaços cujo o nível médio de iluminação é menor do que o valor referência. Do total dos espaços não foram necessários realizar alteração no sistema de iluminação em 26 espaços. Através do estudo efetuado no software Dialux, foi possível diminuir o consumo em 48 espaços sem que o nível médio de iluminação ficasse abaixo do valor de referência. Nestes casos em que o consumo foi reduzido, obteve-se uma redução de custo anual de 778,06€. Nas figuras 5.21 e 5.22 encontram-se representados os benefícios alcançados com esta alteração (ao nível de consumo e custo), sendo que na figura 5.21 faz-se uma comparação entre o valor do consumo atual e o consumo novo obtido com a nova solução, enquanto que na figura 5.22 representa-se o custo atual e o custo novo obtido.

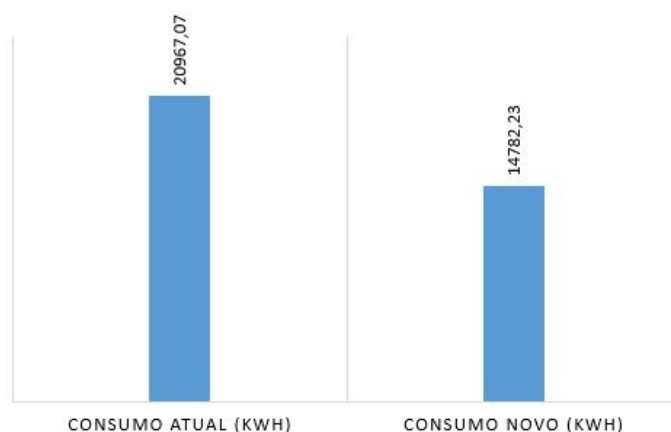


Figura 5.21: Comparação entre os consumos

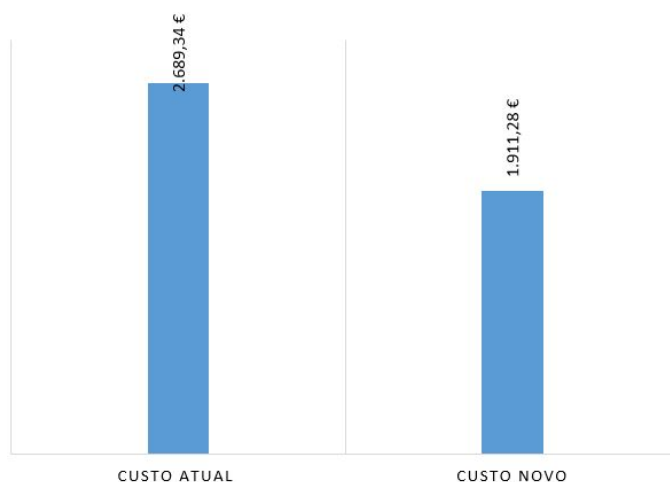


Figura 5.22: Comparação entre os custos

Para além da melhoria obtida após o estudo realizado, constatou-se alguns aspetos, referentes ao sistema de iluminação dos espaços, que necessitam de uma alguma atenção, entre as quais destacam-se as seguintes: Sugere-se a instalação de detetores de presença e movimento 360° ou 180° nos corredores, escadas e casas de banho, espaços caracterizados pela passagem frequente de pessoas, que permite eliminar o consumo desnecessário de energia.

Nas salas de aulas, gabinetes de professores e salas de reuniões sugere-se a instalação de detetores de presença e movimento com aquisição do valor de iluminância para variação do fluxo luminoso das lâmpadas. Neste caso a iluminação passaria a ser controlado de duas formas. No caso de existir iluminação natural o controlo é efetuado por detetores de presença e movimento 360° que fazem a aquisição do valor da iluminância associados com o sensor que faz a variação independente do fluxo luminoso de cada luminária ou de conjuntos de luminárias. No caso de não existir iluminação natural, o controlo é efetuado apenas com detetores de presença e de movimento

360°, que possibilita fazer a variação do fluxo luminoso manualmente através de botões de pressão (o nível de iluminância será sempre ajustado pelo valor médio recomendado).

5.3 Sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado

A instalação em análise é constituída por duas centrais: central térmica fria, responsável pelo arrefecimento que se encontra equipa com um chiller e central térmica quente, responsável pelo aquecimento que se encontra equipada com duas caldeiras. As caldeiras funcionam a gás, são ligadas 45 minutos antes da escola iniciar as suas atividades e são desligadas 30 minutos antes da escolar se encerrar.

5.3.1 Águas Quentes Sanitárias (AQS)

As AQS destinam-se a servir os balneários e o seu aquecimento é feito normalmente por intermédio de caldeiras e painéis solares térmicos. Durante a primavera/verão, é possível efetuar o aquecimento das AQS recorrendo somente aos painéis solares, abdicando da necessidade de aquecer as caldeiras o que leva a uma redução no consumo de gás. Em relação ao armazenamento das AQS, realizam-se em dois reservatórios com capacidade individual de 1000 litros.



Figura 5.23: Termoacumulador

5.3.2 Climatização

O controlo da climatização da instalação em análise é assegurado pela Gestão Técnica Centraliza (GTC). A climatização funciona em dois circuitos de água fechada (ida e volta) em que as duas caldeiras, que fazem parte da central térmica quente, são responsáveis pelo aquecimento dos espaços e o chiller, que faz parte da central térmica fria, é o responsável pelo arrefecimento. É de realçar que todas as bombas instaladas têm variadores de frequência.



Figura 5.24: GTC da climatização da ERF e CM

Em relação às salas de aulas, estas só possuem o sistema de aquecimentos (radiadores) que são ligados apenas no inverno. O período de aquecimento (ligar/desligar) para cada sala de aula é definida e comandada exclusivamente pela GTC. É na GTC que se define a temperatura indicada para o aquecimento das salas de aulas para o dias ou semanas desejadas. O número de radiadores instalados nas salas de aulas variam entre dois a três, dependendo da área de cada sala.

No que diz respeito à entrada de ar nas salas de aulas, esta ocorre pelas grelhas que se encontram instaladas atrás dos radiadores e são expelidos para fora por intermédio de ventiladores.

Os espaços como conselho executivo, secretaria e salas de professores possuem o sistema de aquecimento e arrefecimento (termoventilador). Apesar de que o controlo da climatização também ser realizado pela GTC, os utilizadores podem alterar a temperatura no interior dos espaços atuando diretamente dos termoventiladores.

Em relação a climatização, a instalação em análise pode ser caracterizada como eficiente. Pois, utiliza a GTC que é um elemento crucial na estratégia de eficiência energética de um edifício, reduzindo expressivamente os consumos desnecessários sem afetar o conforto dos utilizadores.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Conclusão

Com a realização da presente dissertação, pretendeu-se minimizar os custos associados ao consumo da energia elétrica da ERF e CM, sem prejudicar o nível do conforto e bem-estar dos utilizadores e, respeitando sempre as normas definidas pela União Europeia.

Nos primeiros dois capítulos fez-se o enquadramento da temática abordada, nomeadamente as origens de energia, as diversas fontes existentes e o impacto ambiental causado pela mesma, e ainda, foi descrito o conceito do desenvolvimento sustentável assim como a sua relevância no âmbito da eficiência energética.

No terceiro capítulo fez-se uma aprofunda narração sobre a eficiência energética e a gestão de energia. Também foram especificadas as principais áreas de atuação para a melhoria da eficiência energética, em geral e especificamente para os edifícios escolares.

No quarto capítulo fez-se um estudo profundo do sistema da iluminação, de modo a perceber quais as tecnologias mais eficientes existentes atualmente no mercado.

Os estudos realizados para os capítulos mencionados anteriormente serviram de base para a realização do caso de estudo apresentado no capítulo cinco. Mais de 70 % dos espaços analisados necessitam de intervenção ao nível de iluminação. Apesar de as lâmpadas instaladas nos edifícios CM e ERF serem maioritariamente T5 de 49 W, verificou-se que em muitos casos essas lâmpadas podiam ser alteradas para 35 W, sem que o nível de iluminância média fosse posto em causa. Em média foi possível baixar o consumo da iluminação em 40 % dos espaços analisados. Verificou-se um número significativo de espaços cujo o nível médio de iluminação é inferior ao valor recomendado pela norma, em alguns casos é possível corrigir esse défice recorrendo a lâmpadas mais eficientes, mas existem casos que só é possível suprir o valor em falta incrementando mais armaduras. Em relação ao AVAC verificou-se que o controlo é efetuado pela GTC, que é uma das medidas chaves para o aumento da eficiência energética. A utilização dos painéis solares térmicos para o aquecimento das AQS, prescindindo da utilização das caldeiras durante a primavera/verão foi uma das outras medidas eficientes encontradas nestas instituições.

6.2 Trabalho Futuro

Dando continuidade aos temas discutidos ao longo desta dissertação, podem-se definir algumas das áreas que, tendo por base este trabalho, são possíveis de ser desenvolvidas em futuros trabalhos de investigação, entre as quais destacam-se as seguintes:

- Poderia ser útil alargar o estudo realizado para os locais que não foram abrangidos e que possam também ser alvo de intervenção através da realização de estudos no Dialux e respetiva comparação com os valores indicados nas normas.
- Possibilidade de substituição de luminárias menos eficientes por outras com tecnologias mais recentes e com maior eficiência.
- De forma a promover a eficiência energética, poderia ser realizado um novo estudo, em que o sistema de iluminação seria gerido através do sistema DALI.

Referências

- [1] BP statistical Review of World Energy June 2014, acessado em Dezembro 2014. [Online]. Available: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-2014/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>
- [2] Wikipédia, “Protocolo de quioto,” acessado em Dezembro 2014. [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Quito
- [3] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, “Caraterização energética nacional 2012,” acessado em Dezembro 2014. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>
- [4] Osram, “Manual luminotécnico prático,” 2005.
- [5] A. Teixeira, “Eficiência energética das instalações de iluminação,” *Textos de apoio à unidade curricular de Luminotecnia e Instalações Industriais, FEUP*, 2004.
- [6] Casa e Planos, “Tipo de luminárias,” acessado em Maio de 2015. [Online]. Available: <http://www.casaoplanos.com/iluminacao/tipo-de-luminarias.html>
- [7] PHILIPS, “Tabela de iluminação profissional,” Novembro 2014.
- [8] J. Neves dos Santos, “Noções básicas de luminotecnia,” Julho 2007, porto, FEUP.
- [9] L. Preza de Araújo, “Tipos e características de lâmpadas: Sistemas de iluminação,” acessado em Março 2015. [Online]. Available: http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2%mpadas/tipos_caracteristicas_das_lampadas.pdf
- [10] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, “Eficiência energética,” acessado em Outubro 2014. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>
- [11] AGENEAL - Agência Municipal de Energia de Almada, “O que é a energia,” acessado em Outubro 2014. [Online]. Available: <http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newsID=9>
- [12] Energy4me , “Energy sources,” acessado em Novembro 2014. [Online]. Available: <http://www.energy4me.org/energy-facts/energy-sources/>
- [13] Energy4me, “Energy Source Comparison,” acessado em Novembro 2014. [Online]. Available: <http://www.energy4me.org/energy-facts/>

- [14] AGENEAL - Agência Municipal de Energia de Almada, “Energias não renováveis,” acessado em Novembro 2014. [Online]. Available: <http://www.ageneal.pt/content01.asp?BtreeID=00/01&treeID=00/01&auxID=&newsID=7&offset=#content>
- [15] APREN - Associação de Energias Renováveis, “Energias renováveis,” acessado em Novembro 2014. [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao/>
- [16] AGENEAL - Agência Municipal de Energia de Almada, “Energias renováveis,” acessado em Novembro 2014. [Online]. Available: <http://www.ageneal.pt/content01.asp?BtreeID=00/01&treeID=00/01&auxID=&newsID=8&offset=#content>
- [17] Unite Nations Framework Convention on Climate Change, “Kyoto protocol,” acessado em Dezembro 2014. [Online]. Available: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
- [18] ICTSD - International Centre for Trade and Sustainable Development. [Online]. Available: <http://www.ictsd.org/bridges-news/pontes/news/cop-de-doha-e-a-segunda-fase-de-quioto-um-%E2%80%9Csucesso-por-defini%C3%A7%C3%A3o%E2%80%9D>
- [19] Economia Portuguesa e Europeia, acessado em Dezembro 2014. [Online]. Available: <http://ecportuguesaeeuropeia.blogspot.pt/2012/04/energia-de-portugal.html>
- [20] Energia em Portugal, acessado em Dezembro 2014. [Online]. Available: <http://www.energiaportugal.pt/pt/energia-em-portugal>
- [21] BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, “Manual de boas práticas de eficiência energética: Implementar o desenvolvimento sustentável nas empresas,” 2005.
- [22] eds.Norte – Energia e Desenvolvimento Sustentável na Região Norte, “Eficiência energética no sector empresarial,” 2006.
- [23] ADENE e DECO, “A utilização racional de energia em edifícios públicos,” 2008.
- [24] AlMinho, “Manual de boas práticas para a eficiência energética,” 2010.
- [25] ADENE - Agência para a Energia, “Medidas de eficiência energética aplicáveis à indústria portuguesa,” 2010.
- [26] Parque Escolar, “Manual de projecto: Instalações técnicas.”
- [27] Edifícios e Energia, “Gestão técnica centralizada,” acessado em Março 2015. [Online]. Available: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/tema-capa>
- [28] ADENE - Agência para a Energia, “Medidas de eficiência energética aplicáveis à indústria portuguesa,” Julho 2010.

- [29] Fontes Luminosas, acessido em Maio de 2015. [Online]. Available: http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/Fontes_Lumin.pdf
- [30] S. R. Hui, D. Lin, W. Ng, and W. Yan, “A “class-a2” ultra-low-loss magnetic ballast for t5 fluorescent lamps—a new trend for sustainable lighting technology,” *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 26, no. 2, pp. 622–629, 2011.
- [31] Agefe, “Iluminação novos regulamentos/novas oportunidade,” Maio 2009.

Anexo A

A.1 Níveis de Iluminação

DESIGNAÇÃO DO ESPAÇO (PE)	DESIGNAÇÃO NA NORMA / PONTO DA NORMA	NÍVEL MÉDIO DE ILUMIN. (LUX)	UGR
SALA DE AULA NORMAL	CLASSROOM / 6.2.1	300	19
QUADRO DO PROFESSOR	BLACK BOARD / 6.2.4	500	19
SALA DE AULA NORMAL COM UTILIZAÇÃO NOCTURNA E PARA FORMAÇÃO DE ADULTOS	CLASSROOM FOR EVENING CLASSES AND ADULTS EDUCATION / 6.2.2	500	19
SALA DE AULA TIC	COMPUTER PRACTICE ROOMS / 6.2.13	300	19
SALA DE DESENHO NORMAL	ART ROOMS / 6.2.6	500	19
SALA DE DESENHO TÉCNICO	TECHNICAL DRAWING ROOMS / 6.2.8	750	16
SALAS DE ARTES NUMA ESCOLA DE ARTES	ART ROOMS IN ART SCHOOLS / 6.2.7	750	19
OFICINA E LABORATÓRIO (FÍSICA, QUÍMICA, LÍNGUAS, ETC.)	PRATICAL ROOMS AND LABORATORIES / 6.2.9	500	19
SALA DE PREPARAÇÃO DO LABORATÓRIO	PREPARATION ROOMS AND WORKSHOPS / 6.2.15	500	22
EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA	-	(1) 500	19
ESTÚDIO DE MULTIMÉDIA	-	(2) 300	19
SALAS DE APOIO AOS ESTUDANTES SEM A PRESENÇA DE DOCENTES	-	(2) 300	19
ÁREA DESTINADA A TRABALHO DE DOCENTES	-	(1) 500	19
ÁREAS DESTINADAS AO ENSINO-APRENDIZAGEM INFORMAL	-	(3) 300	19
ÁREA DE ACTIVIDADES LECTIVAS COMPLEMENTARES ("CLUBES") E A EXIBIÇÃO DE TRABALHOS / CONTEÚDOS DIDÁCTICOS	STUDENT COMMON ROOMS AND ASSEMBLY HALLS / 6.2.19	200	22
ÁREAS ADMINISTRATIVAS, GABINETES DE ATENDIMENTOS OU NÃO, SALAS DE REUNIÕES	WRITING, TYPING, READING, DATA PROCESSING / 3.2	500	19
GABINETE DE PSICOLOGIA; POSTO DE PRIMEIROS SOCORROS	ROOMS FOR MEDICAL ATTENTION / 1.2.6	500	19
REPROGRAFIA	FILING, COPYIN, ETC. / 3.1	300	19
BIBLIOTECA / ZONA DE PRATELEIRAS	BOOKSHELVES / 6.2.21	200	19
BIBLIOTECA / ZONA DE LEITURA	READING AREAS / 6.2.22	500	19
ESPAÇO POLIVALENTE	-	(4) 500	19
AUDITORIO	CONFERENCE AND MEETING ROOMS / 3.5	(4) 500	19
SALA DE EXPOSIÇÕES / ESPAÇOS MUSEOLÓGICOS	-	(4) 500	19
GINÁSIO	SPORTS HALLS, GYMNASIUMS, SWIMMING POOLS (GENERAL USE) / 6.2.24	300	22
POLIDESPORTIVO COBERTO	SPORTS HALLS, GYMNASIUMS, SWIMMING POOLS (GENERAL USE) / 6.2.24	EN 12193	-

Figura A.1: Níveis de iluminação média

DESIGNAÇÃO DO ESPAÇO (PE)	DESIGNAÇÃO NA NORMA / PONTO DA NORMA	NÍVEL MÉDIO DE ILUMIN. (LUX)	UGR
BALNEÁRIOS E CASAS DE BANHO	CLOAKROOMS, WASHROOMS, BATHROOMS, TOILETS / 1.2.4	200	25
ENTRADA / RECEPÇÃO	ENTRANCE HALLS / 6.2.16	200	22
ZONAS DE CIRCULAÇÃO, CORREDORES	CIRCULATION AREAS, CORRIDORS / 6.2.17	100	25
ESCADAS	STAIRS / 6.2.18	150	25
LOJA DE CONVENIÊNCIA DO ESTUDANTE	SALES AREA / 4.1	300	22
ÁREAS SOCIAIS E DE CONVÍVIO	STUDENT COMMON ROOMS AND ASSEMBLY HALLS / 6.2.19	200	22
ARRECADACÕES	STOCK ROOMS FOR TEACHING MATERIALS / 6.2.23	100	25
ARQUIVO	ARCHIVES / 3.7	200	25
REFEITÓRIO E CAFETARIA	SCHOOL CANTEENS / 6.2.25	200	22
COZINHA	KITCHEN / 6.2.26	500	22

Figura A.2: Níveis de iluminação média (continuação)

As tabelas representadas nas figuras A.1 e A.2 foram retiradas da página 69 e 70 do Manual de Projeto de Instalações Técnicas.

A.2

Descrição	Marca	Modelo
E1	TRILUX	3911 RPX-L
E2	ATOMIS	TETRIS 220 2X26W TC-T/E
E2.1	TRILUX	3911RSV
E2.2	TRILUX	5001RMV
E3	ZUNTOBEL	FT1 35W T16 EVG
E4	ERCO	TRION UPLIGHT 1X42W
E5	ODEL LUX	OD-8554 1X58W
E6	ODEL LUX	OD-8554 1X58W
E7	TRILUX	3911RPX
E8	BOLUCE	BO 0902
E10	ODEL LUX	OD-8554 2X58W
E11	ZUNTOBEL	CHIARO FT 1X35W
E12	MULTILINE	VIVACE 7.2 HIT-DE-CRI
E13	ODEL LUX	OD-8554 2X58W
E14	ZUNTOBEL	CHIARO FT 1X28W
E15	TRILUX	T16 EVG 8X3911 RPX-L
E16	TRILUX	T16 EVG 10X3911 RPX-L
E17	TRILUX	T16 EVG 3X3911 RPX-L
E18	MULTILINE	VIVACE 1.2 2XTC D 26/G24D3

Tabela A.1: Características das armaduras instaladas na ERF e CM

A.3

Tabela A.2: Número de horas de funcionamento das lâmpadas durante o dia

Funcionamento das lâmpadas	
Local	Horas
Sala de aula	6
Gabinete	5
Corredor	7
Espaços Sanitários	6
Pavilhão	6
Refeitório	4
Biblioteca	6
Arrecadação	3
Arquivo	3
Gabinete psicologia	4
Sala trabalho	4
Sala apoio	5
Sala Formação	3
Sala funcionários	4
Associação dos estudantes	5
Área aprendizagem informal	4
Loja	5
Escada	7
Sala de desenho	6
Sala EVT	6
Refeitório	3
Sala Percussão	4
Sala apoio	4

A.4 Caraterísticas das lâmpadas

Lâmpada T5 35W		Lâmpada T5 49W		Lâmpada T8 58W	
Temperatura (K)	6500	Temperatura (K)	6500	Temperatura (K)	6500
Fluxo Luminoso (lm)	3100	Fluxo Luminoso (lm)	4100	Fluxo Luminoso (lm)	5000
IRC	85	IRC	>85	IRC	>85
Preço (€)	8,01	Preço (€)	8,34	Preço (€)	5,25
Tempo de Vida	19000	Tempo de Vida (h)	19000	Tempo de Vida (h)	12000
Casquilho	G13	Casquilho	G13	Casquilho	G13

Figura A.3: Caraterísticas das lâmpadas

Master PL-C 4 pinos 18W		Master PL-C 4 pinos 26W	
Temperatura (K)	4000	Temperatura (K)	4000
Fluxo Luminoso (lm)	1200	Fluxo Luminoso (lm)	1800
IRC	80	IRC	80
Preço (€)	6,49	Preço (€)	6,49
Tempo de Vida (h)	8000	Tempo de Vida (h)	8000
Casquilho	G24Q	Casquilho	G24Q

Figura A.4: Caraterísticas das lâmpadas

Master PL-T 4 pinos 32W		Master PL-T 4 pinos 42W	
Temperatura (K)	4000	Temperatura (K)	4000
Fluxo Luminoso (lm)	2400	Fluxo Luminoso (lm)	3200
IRC	80	IRC	80
Preço (€)	13,56	Preço (€)	13,56
Tempo de Vida (h)	8000	Tempo de Vida (h)	8000
Casquilho	G24Q	Casquilho	G24Q

Figura A.5: Caraterísticas das lâmpadas

Anexo B

As imagens que ilustradas nesta secção representam a distribuição das iluminâncias para os diferentes espaços. A imagem a) representa a solução atual e a b) representa a solução sugerida.

B.1 Iluminância média dos espaços analisados no piso 1 da ERF

Corredor museu 1.1.A

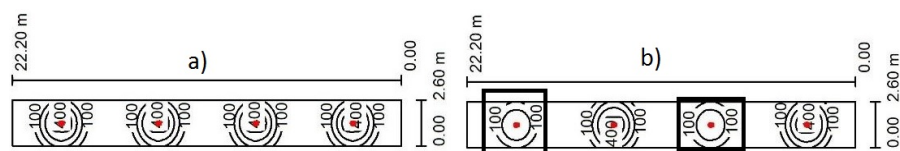


Figura B.1: Distribuição da iluminação

Corredor Centro de formação 1.1.B

A lâmpada assinalada na figura b) foi a única cuja a potência das lâmpadas não foram alteradas de 26 W para 18 W.

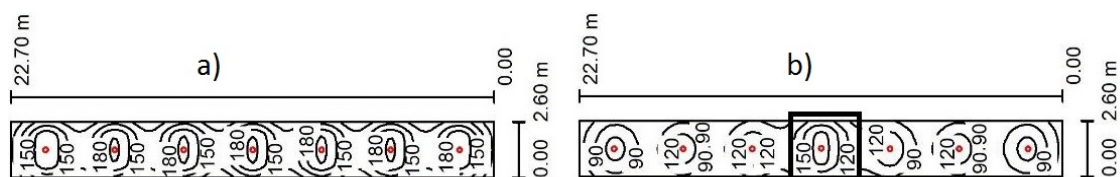


Figura B.2: Distribuição da iluminação

Corredor sanitários 1.1.C

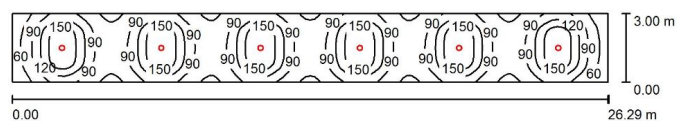


Figura B.3: Distribuição da iluminação

Corredor salas de aula 1.1.D

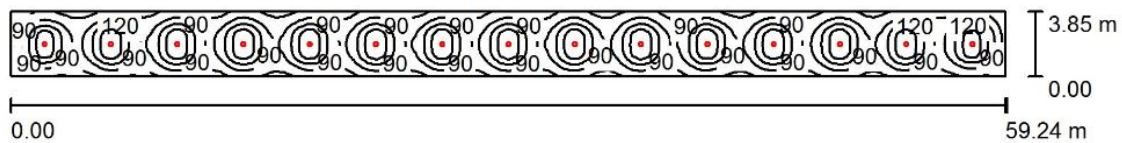


Figura B.4: Distribuição da iluminação

Museu 1.2

As lâmpadas que foram alteradas de 49 W para 80 W, encontram-se assinaladas na figura b)

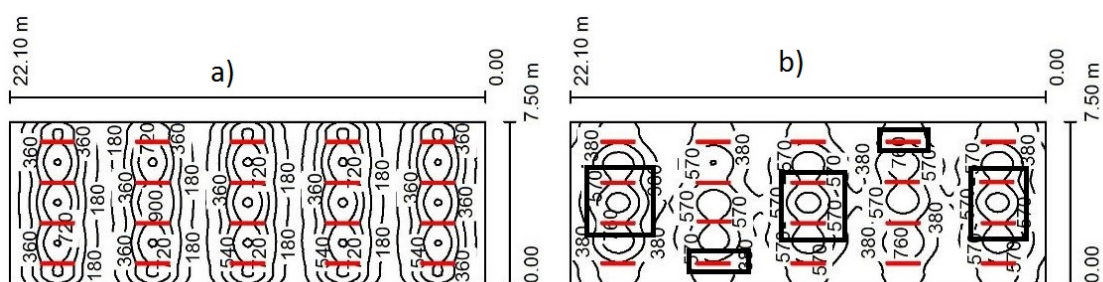


Figura B.5: Distribuição da iluminação

Gabinete de Psicologia 1.3

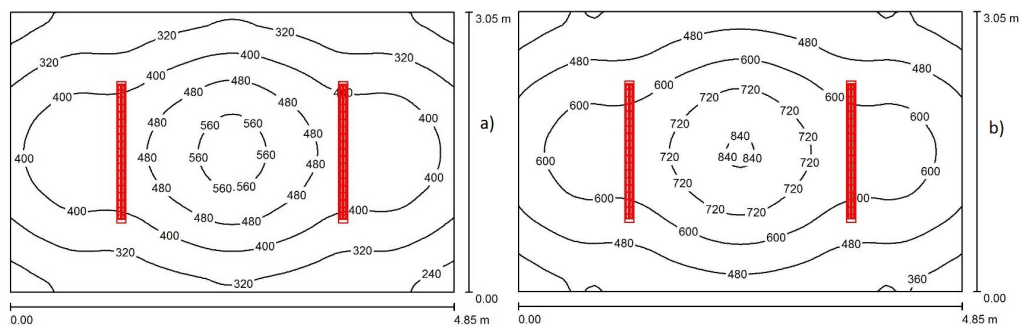


Figura B.6: Distribuição da iluminação

Sala de Apoio a alunos 1.4 e Sala de trabalho 1.5B

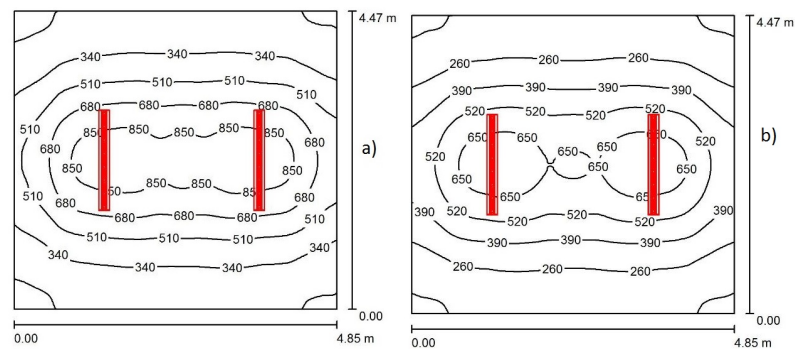


Figura B.7: Distribuição da iluminação

Sala de trabalho 1.5.A

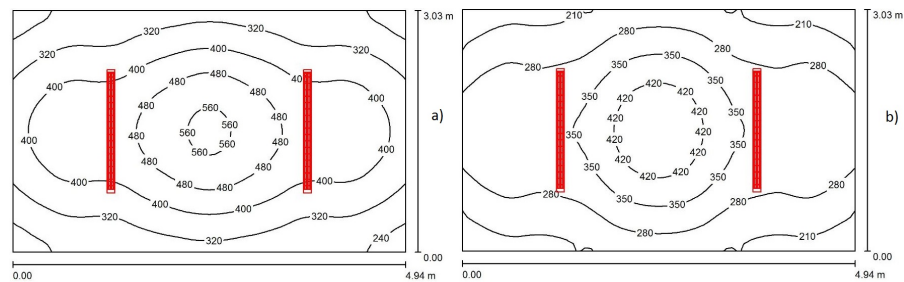


Figura B.8: Distribuição da iluminação

Sala de apoio ao museu 1.6

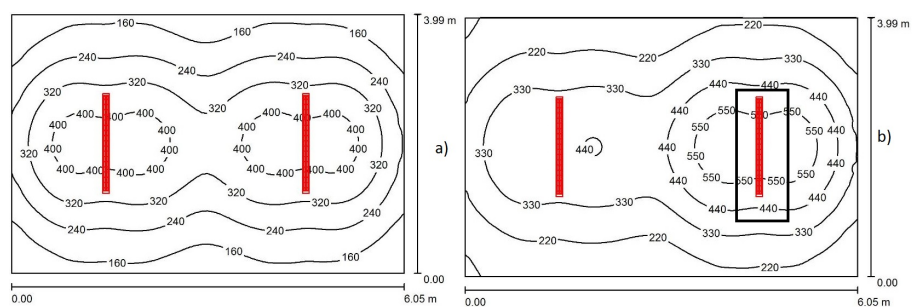


Figura B.9: Distribuição da iluminação

Centro de Formação 1.7

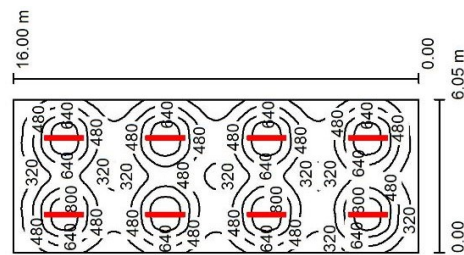


Figura B.10: Distribuição da iluminação

Distribuição sanitários 1.8

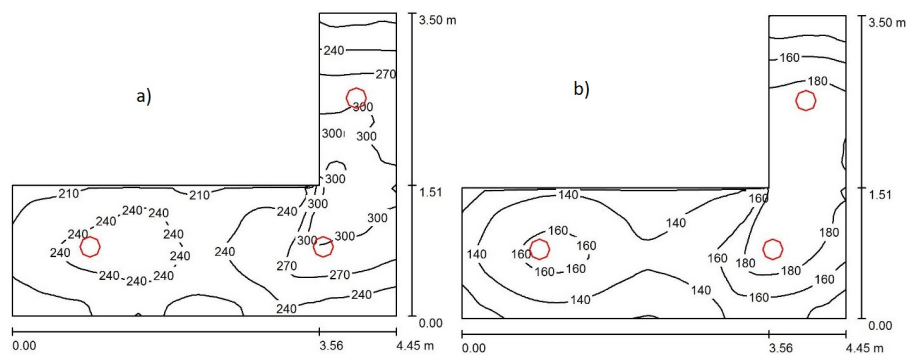


Figura B.11: Distribuição da iluminação

Sanitários deficientes 1.9

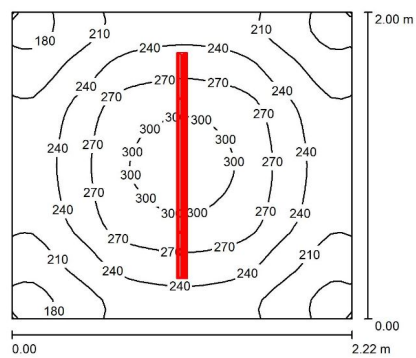


Figura B.12: Distribuição da iluminação

Sanitário feminino 1.10

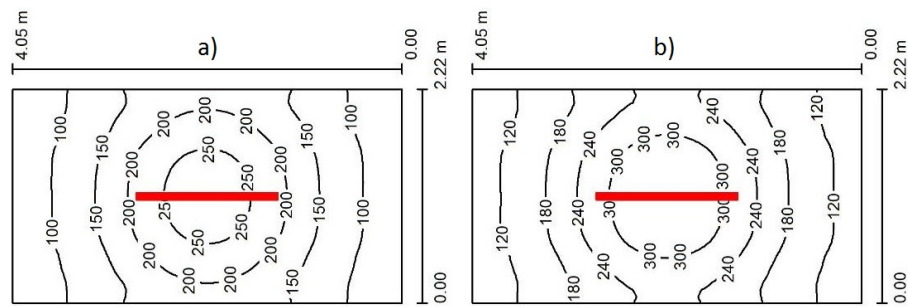


Figura B.13: Distribuição da iluminação

Sanitário masculino 1.11

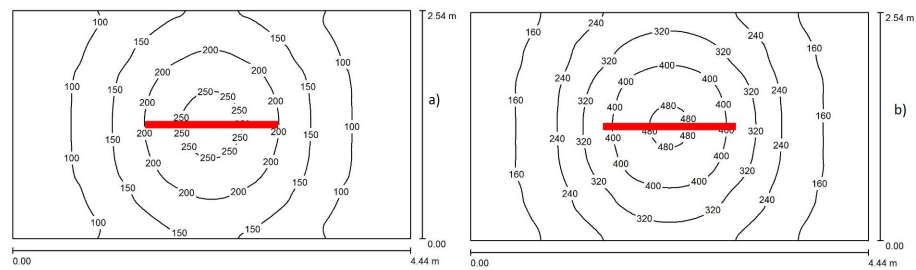


Figura B.14: Distribuição da iluminação

Sala de Aula 1.12.A

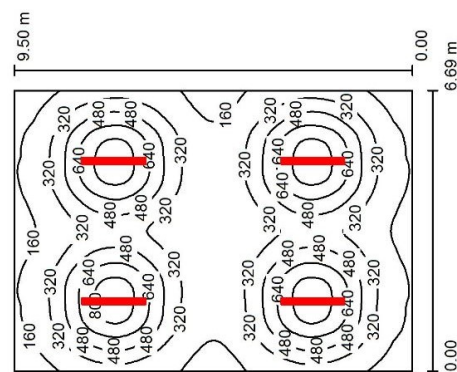


Figura B.15: Distribuição da iluminação

Sala de Aula 1.12B e Sala de Aula 1.12C

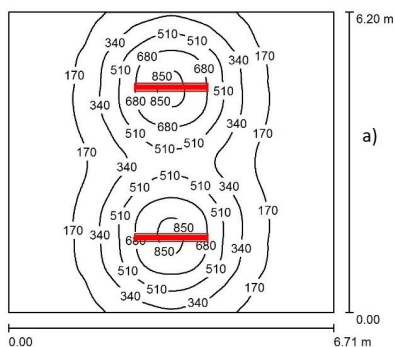


Figura B.16: Distribuição da iluminação

Sala de Aula 1.12D; 1.12E; 1.12F; 1.12G; 1.12H; 1.12I e 1.12J

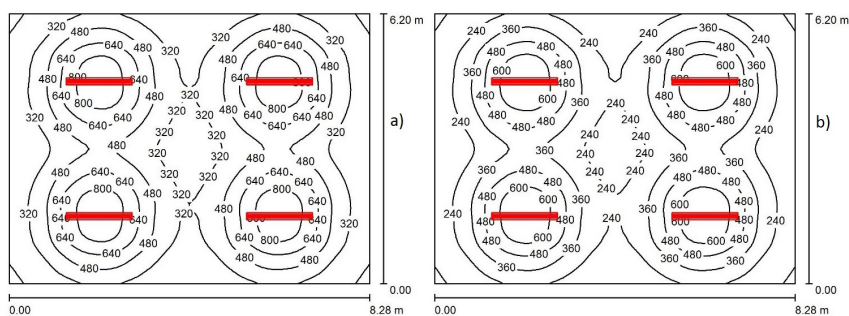


Figura B.17: Distribuição da iluminação

Sala de desenho 1.13

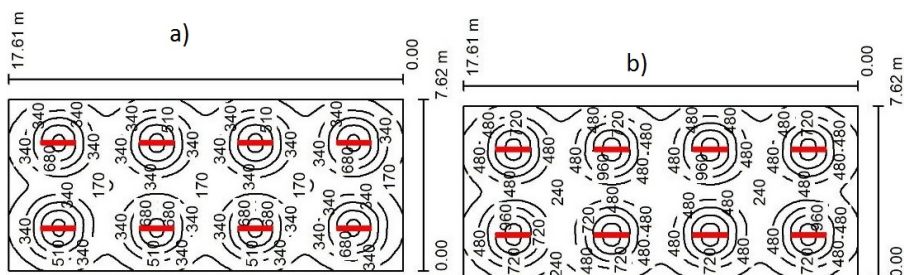


Figura B.18: Distribuição da iluminação

B.2 Iluminância média dos espaços analisados no piso 2 da ERF

Corredor sanitários -1.1A

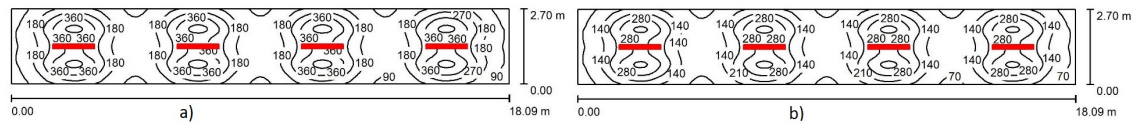


Figura B.19: Distribuição da iluminação

Corredor Salas de aula -1.1B

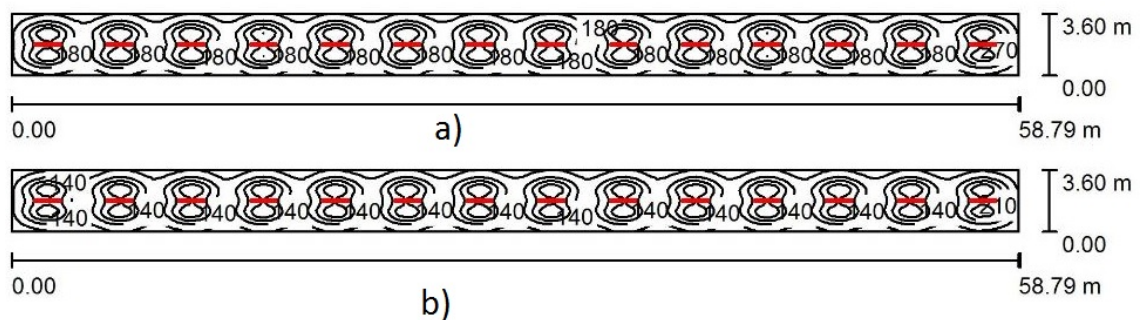


Figura B.20: Distribuição da iluminação

Corredor refeitório -1.1C

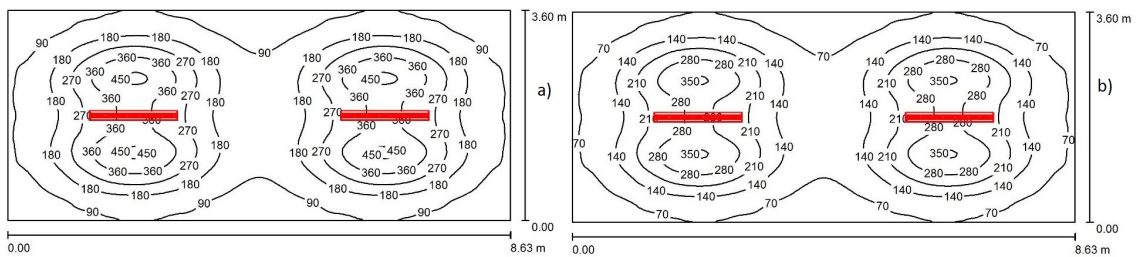


Figura B.21: Distribuição da iluminação

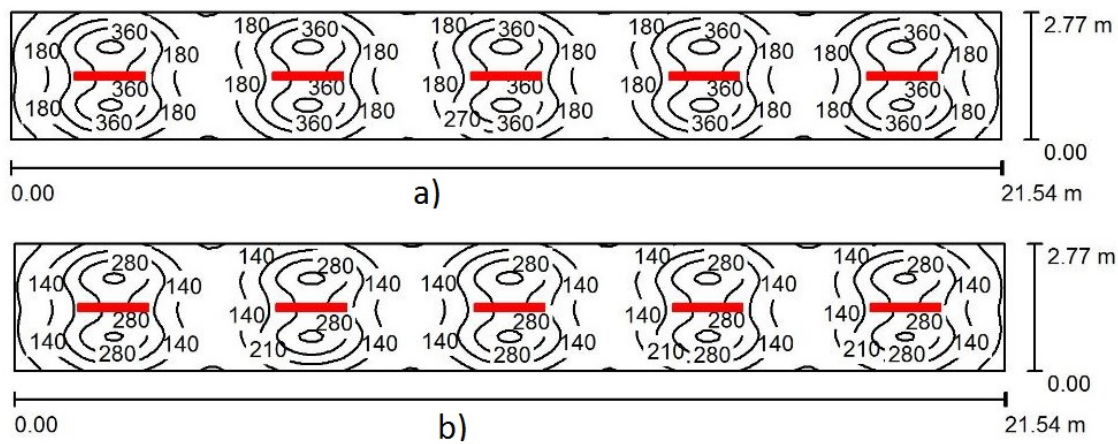
Corredor refeitório -1.1D

Figura B.22: Distribuição da iluminação no corredor parte 1

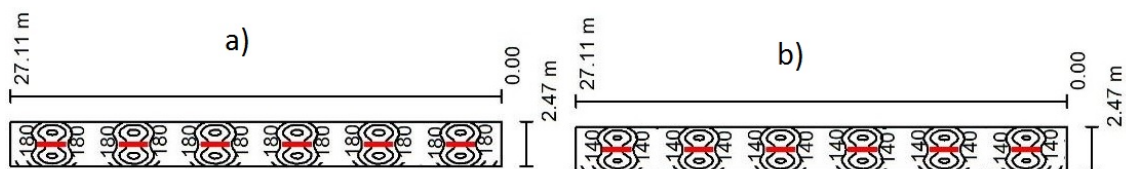


Figura B.23: Distribuição da iluminação no corredor parte 2

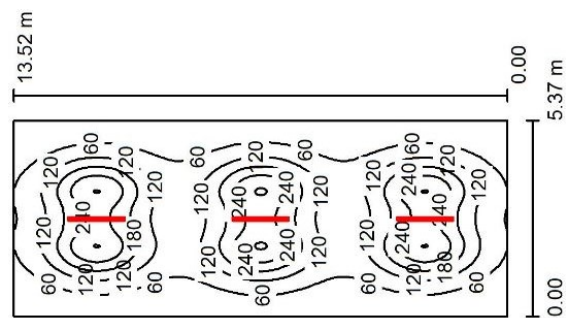
Corredor passagem pátio -1.1E

Figura B.24: Distribuição da iluminação

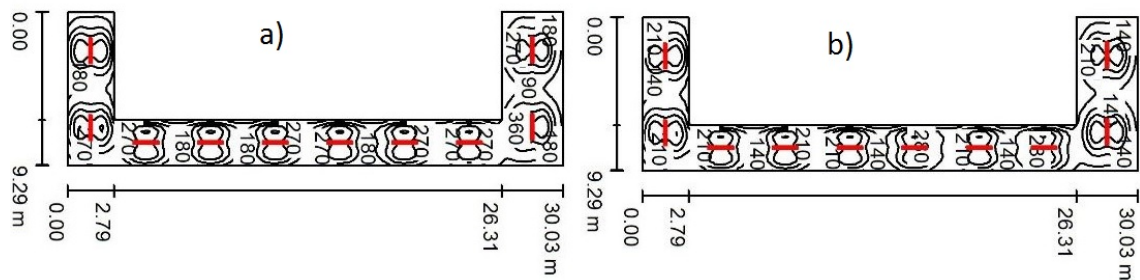
Corredor áreas de aprendizagem informal -1.1F

Figura B.25: Distribuição da iluminação

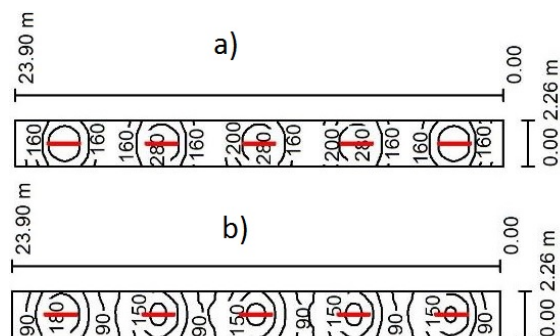
Corredor áreas técnicas -1.1G

Figura B.26: Distribuição da iluminação

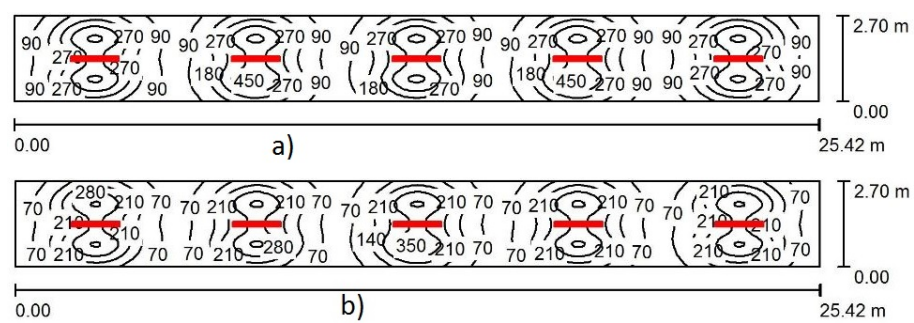
Corredor salas SFE -1.1H

Figura B.27: Distribuição da iluminação

Sala funcionários -1.2

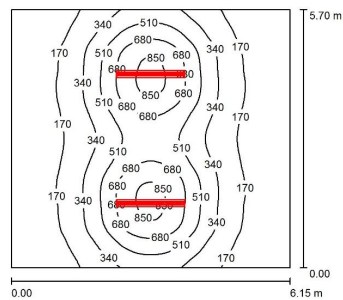


Figura B.28: Distribuição da iluminação

Vestiário feminino -1.3; Balneário/sanitário feminino -1.4; Vestiário masculino -1.5 e Balneário/sanitário masculino -1.6

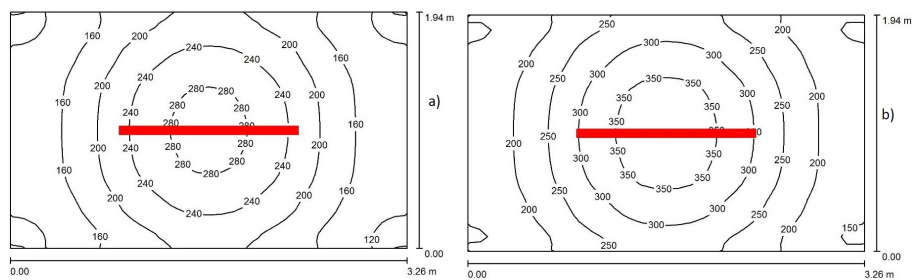


Figura B.29: Distribuição da iluminação

Sanitário feminino -1.7 e Sanitário masculino -1.8

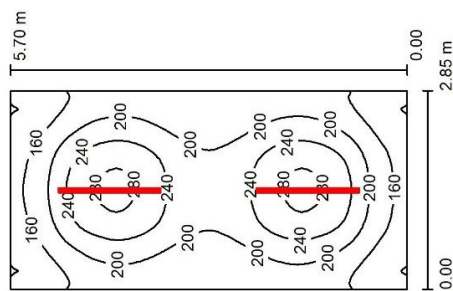


Figura B.30: Distribuição da iluminação

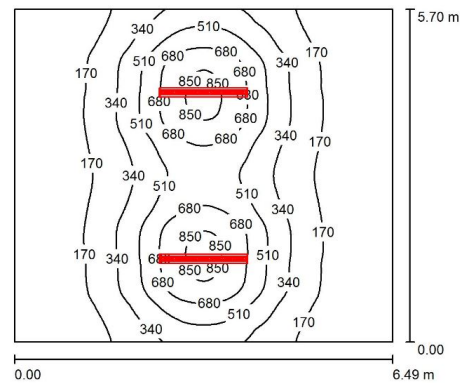
Sala de EVT/serigrafia -1.9

Figura B.31: Distribuição da iluminação

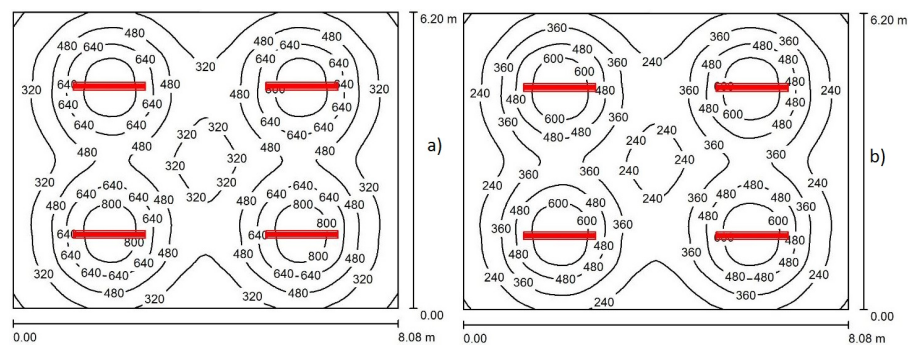
Salas de Aulas -1.11A; -1.11B; -1.11C; -1.11D; -1.11E; -1.11F e -1.11G

Figura B.32: Distribuição da iluminação

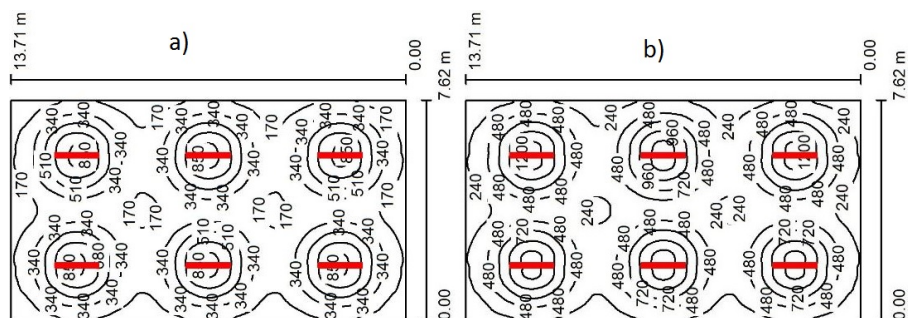
Sala de EVT -1.13

Figura B.33: Distribuição da iluminação

Sala Apoio EVT -1.14

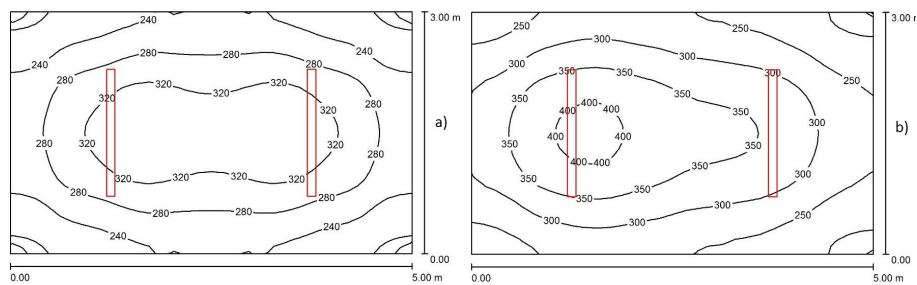


Figura B.34: Distribuição da iluminação

Sala EVT -1.15.A

As armaduras assinaladas são as que as potência das lâmpadas foram alteradas para 80 W.

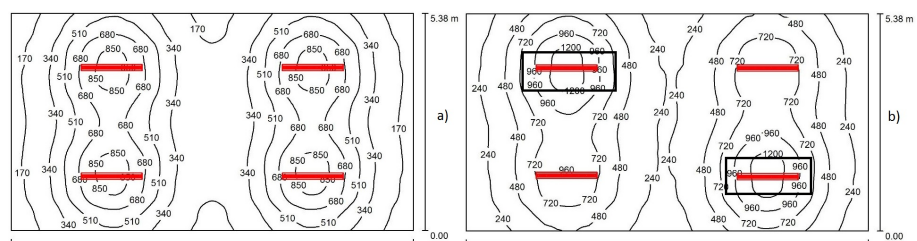


Figura B.35: Distribuição da iluminação

Sala EVT -1.15.B

As armaduras assinaladas são as que as potência das lâmpadas foram alteradas para 80 W.

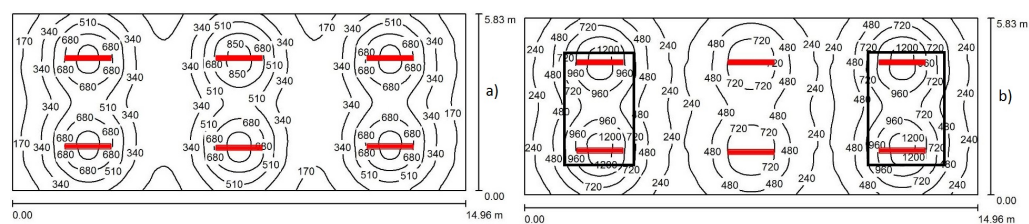


Figura B.36: Distribuição da iluminação

Arquivo -1.16A; Arquivo-1.16B; Central elétrica-1.28; Arquivo -1.29B e Arquivo -1.29 D

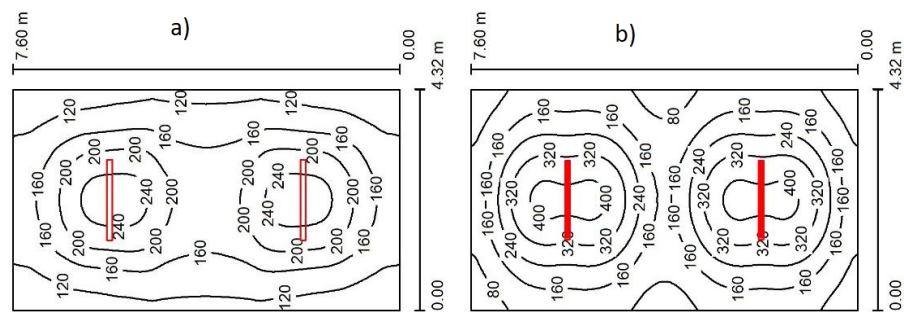


Figura B.37: Distribuição da iluminação

Sala Apoio EVT -1.17

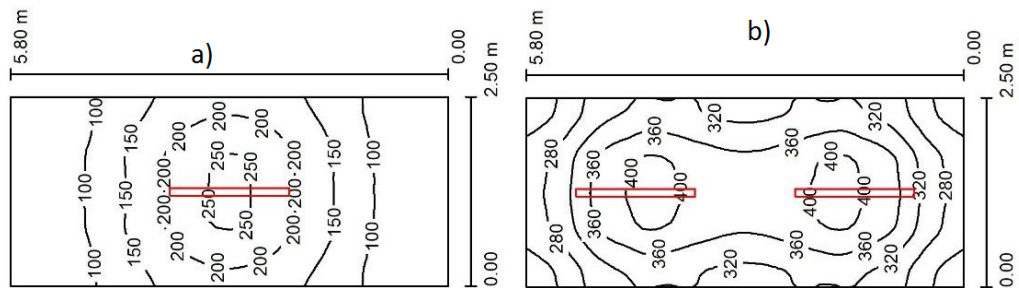


Figura B.38: Distribuição da iluminação

Associação dos estudantes -1.18

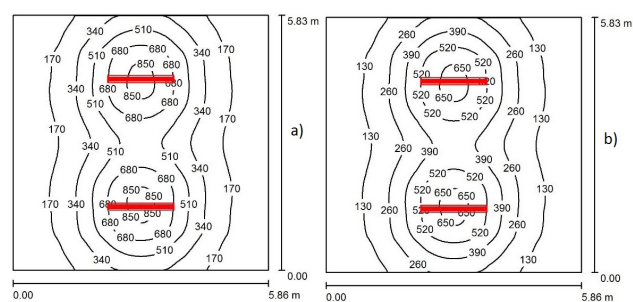


Figura B.39: Distribuição da iluminação

Áreas de aprendizagem informal -1.19.A

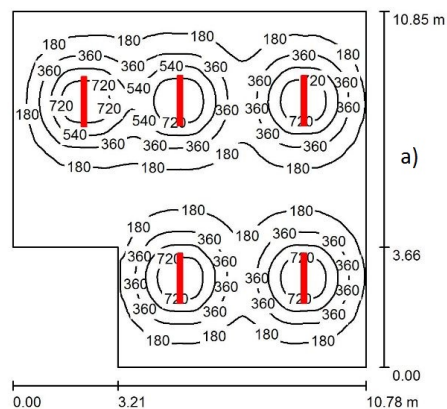


Figura B.40: Distribuição da iluminação

Áreas de aprendizagem informal -1.19B

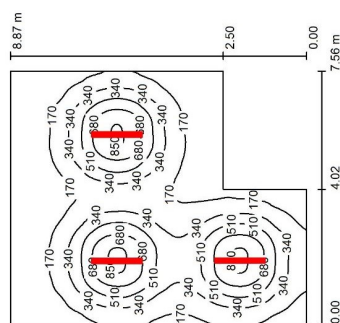


Figura B.41: Distribuição da iluminação

Áreas de aprendizagem informal -1.19C

As lâmpadas que foram alteradas para de 49 W para 35 W encontram-se assinaladas na figura b).

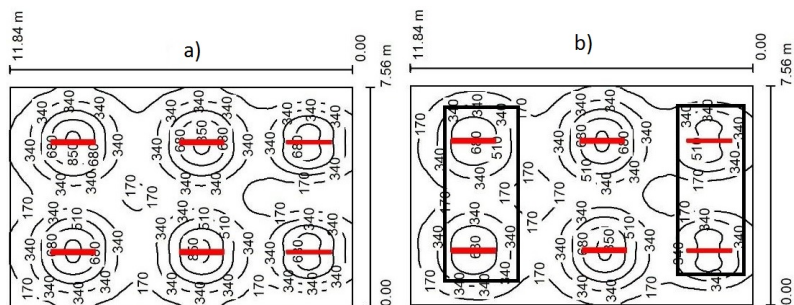


Figura B.42: Distribuição da iluminação

Áreas de aprendizagem informal -1.19D

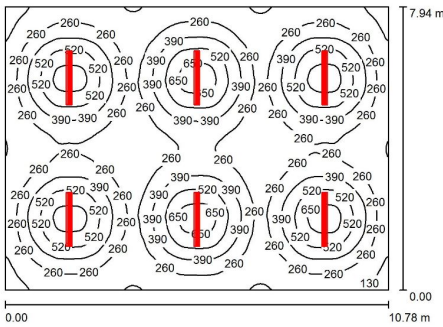


Figura B.43: Distribuição da iluminação

Arrecadação da loja -1.21 e Grupo eletrobomba -1.27

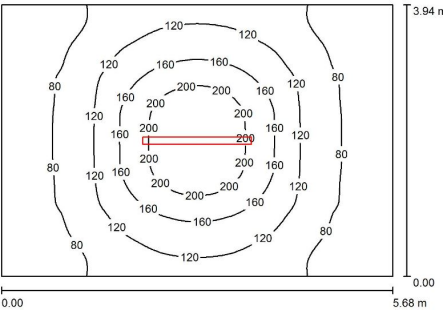


Figura B.44: Distribuição da iluminação

Loja -1.22

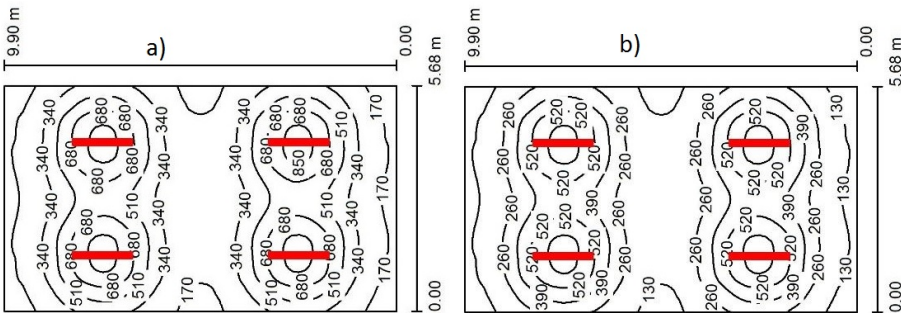


Figura B.45: Distribuição da iluminação

Distribuição sanitários -1.23

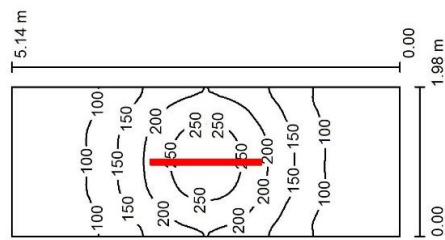


Figura B.46: Distribuição da iluminação

Sanitário de deficientes -1.24; Sanitário masculino -1.25 e Sanitário feminino -1.26

A figura 1 ilustra a distribuição da iluminação no Sanitário de deficientes -1.24 e figura 2 ilustra nos Sanitário masculino -1.25 e Sanitário feminino -1.26

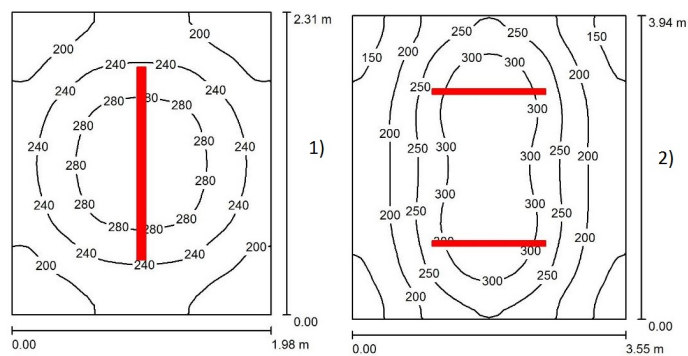


Figura B.47: Distribuição da iluminação

Arquivo 1.29A e Arquivo 1.29C

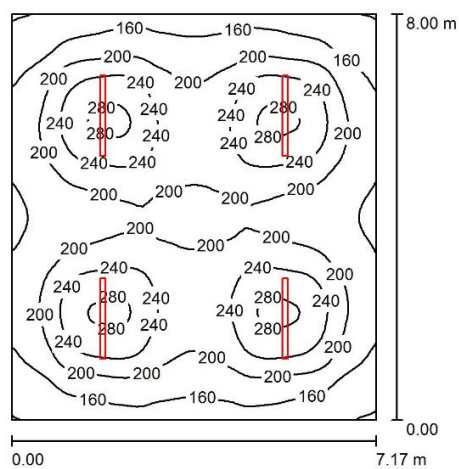


Figura B.48: Distribuição da iluminação

B.3 Iluminância média dos espaços analisados no CM

Pavilhão -1.25

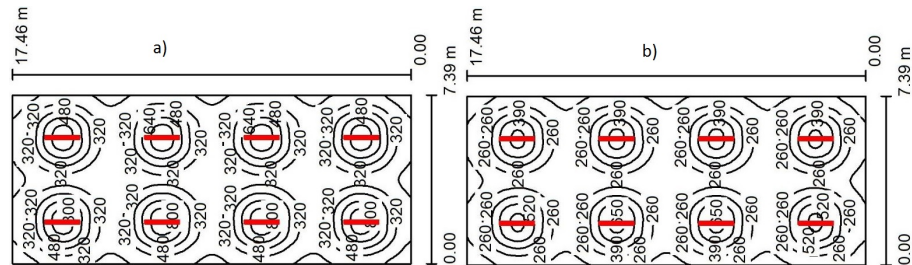


Figura B.49: Distribuição da iluminação

Sala polivalente -1.27

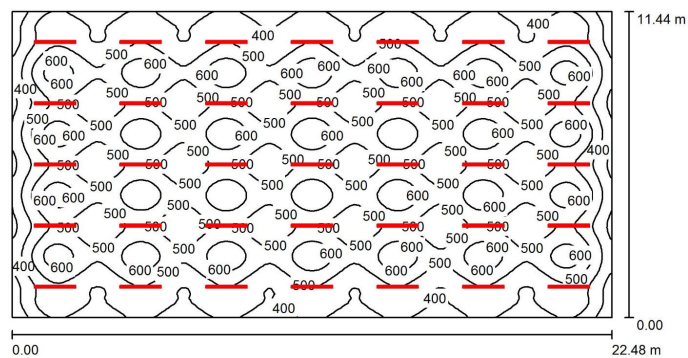


Figura B.50: Distribuição da iluminação

Refeitório -1.29

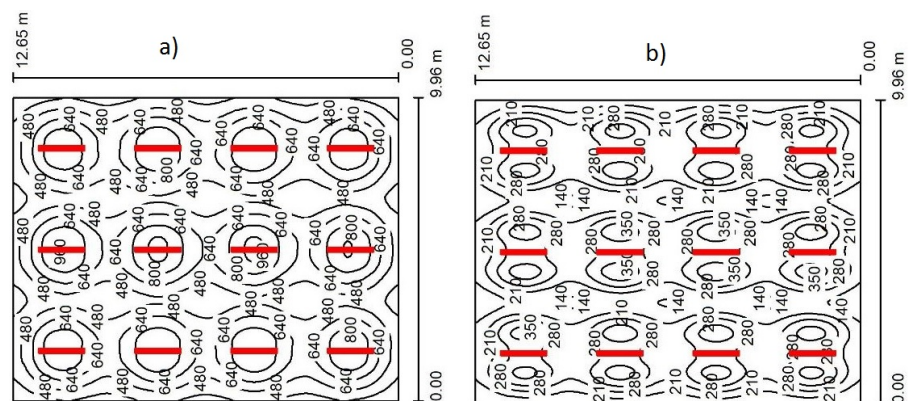


Figura B.51: Distribuição da iluminação

Cozinha -1.30

As lâmpadas assinaladas representam às T5 de 49 W e às restantes T5 80 W.

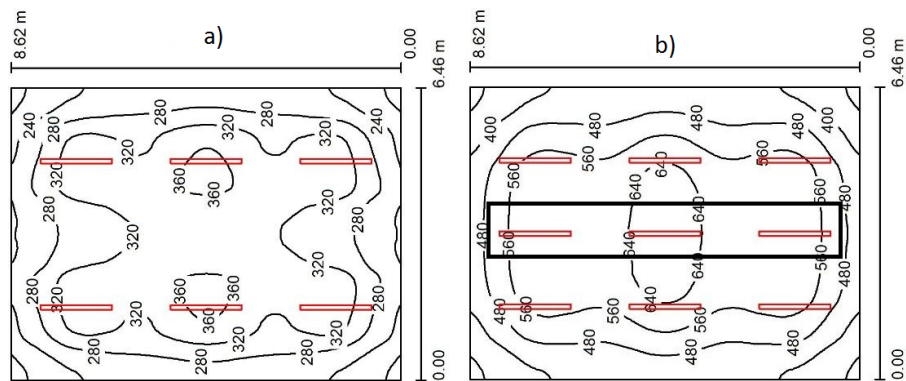


Figura B.52: Distribuição da iluminação

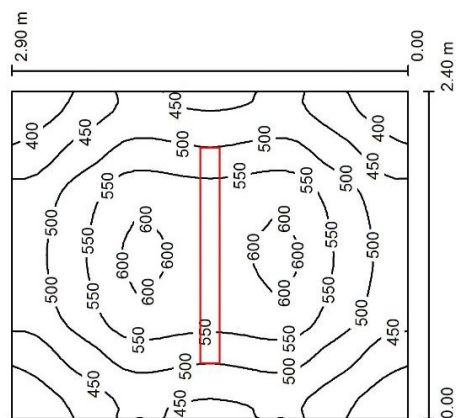
Sala de primeiros socorros -2.14B

Figura B.53: Distribuição da iluminação

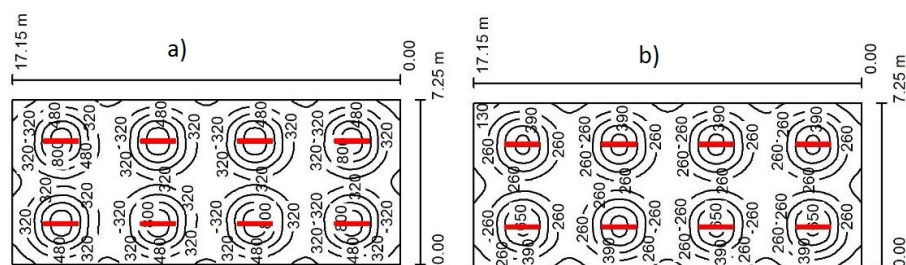
Sala de percussão -2.26

Figura B.54: Distribuição da iluminação

Anexo C

C.1 Planta do Piso 2

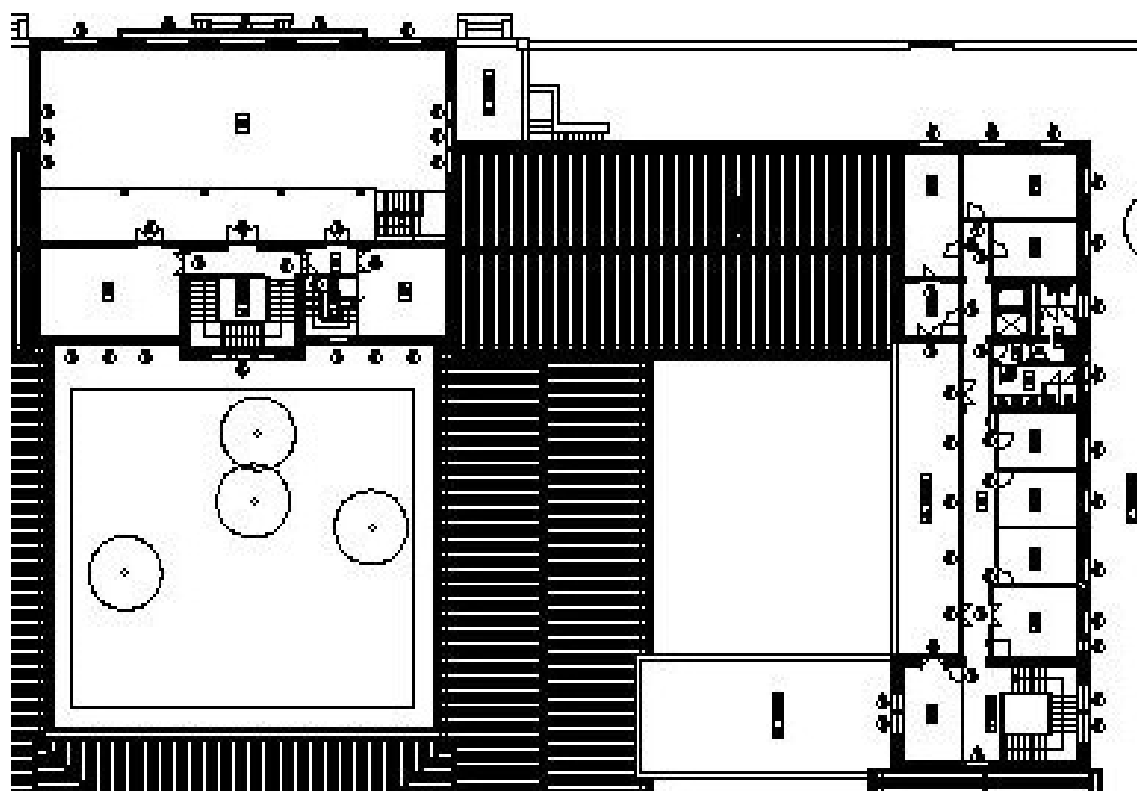


Figura C.1: Planta do piso 2 da Escola Rodrigues Freitas

C.2 Planta do Piso 1

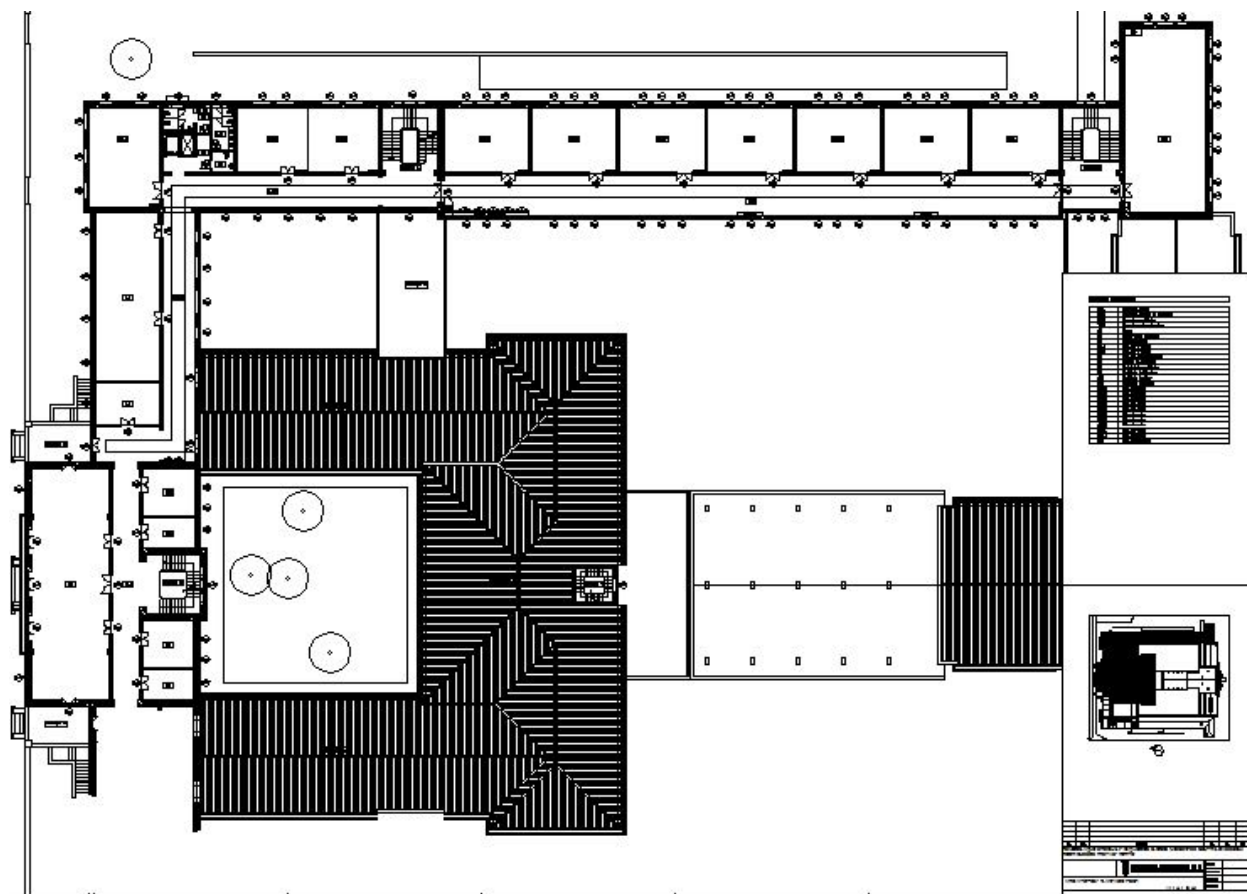


Figura C.2: Planta do piso 1 da Escola Rodrigues Freitas

C.3 Planta do Piso -1

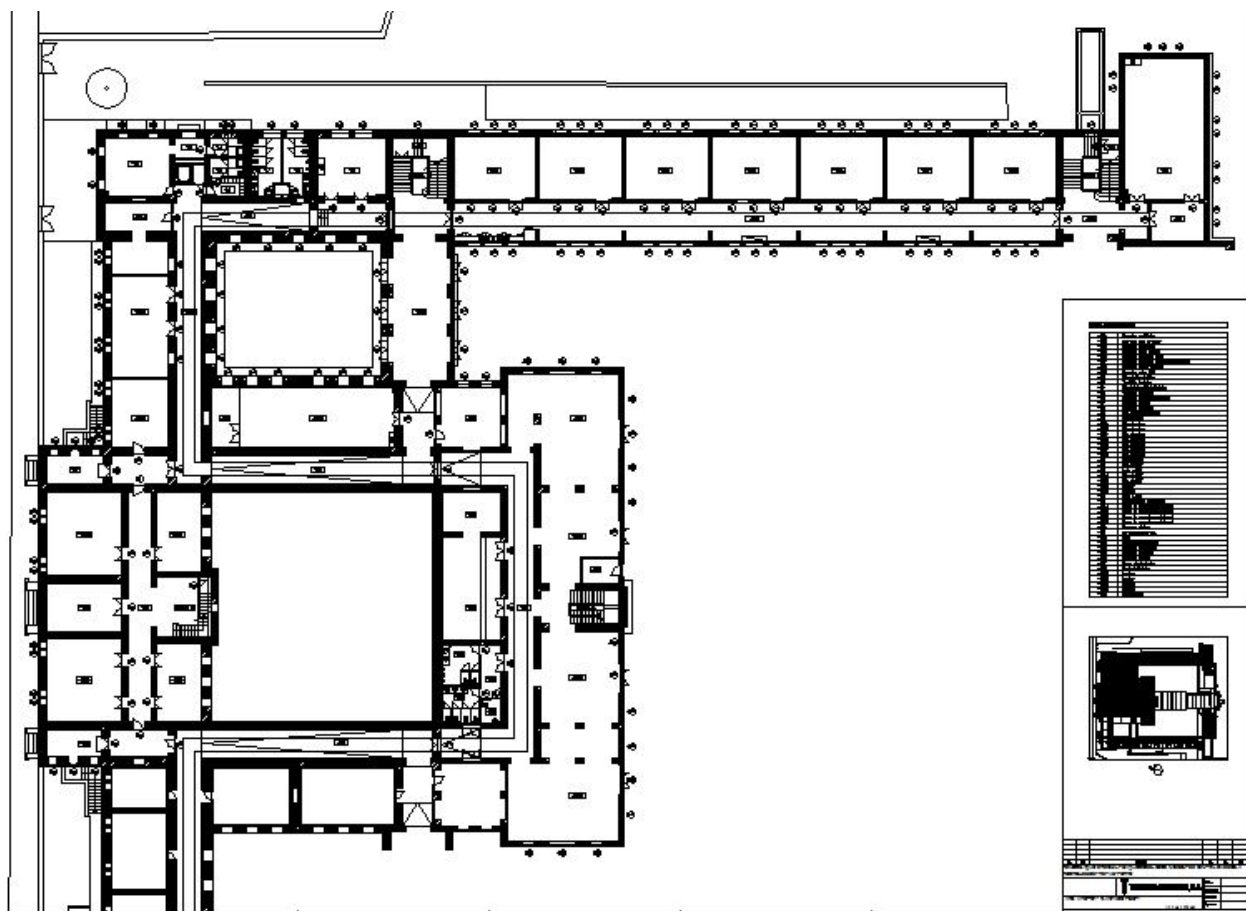


Figura C.3: Planta do piso -1 da Escola Rodrigues Freitas